

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
Departamento de Estomatología II



TESIS DOCTORAL

Influencia sobre la dureza de la dentina radicular del hipoclorito de sodio, ácido etilendiaminotetraacético e irrigación ultrasónica pasiva

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Verónica Miguel Lago

Director

Ernesto García Barbero

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II (Odontología Conservadora)



**INFLUENCIA SOBRE LA DUREZA DE LA DENTINA
RADICULAR DEL HIPOCLORITO DE SODIO, ÁCIDO
ETILENDIAMINOTETRAACÉTICO E IRRIGACIÓN
ULTRASÓNICA PASIVA**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Verónica Miguel Lago

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II (Odontología Conservadora)



**INFLUENCIA SOBRE LA DUREZA DE LA DENTINA
RADICULAR DEL HIPOCLORITO DE SODIO, ÁCIDO
ETILENDIAMINOTETRAACÉTICO E IRRIGACIÓN
ULTRASÓNICA PASIVA**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Verónica Miguel Lago

Bajo la dirección del Doctor

Ernesto García Barbero

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II (Odontología Conservadora)



**INFLUENCIA SOBRE LA DUREZA DE LA DENTINA
RADICULAR DEL HIPOCLORITO DE SODIO, ÁCIDO
ETILENDIAMINOTETRAACÉTICO E IRRIGACIÓN
ULTRASÓNICA PASIVA**

MEMORIA

que para la obtención del Grado de Doctor en Odontología,
presenta

Dña. Verónica Miguel Lago

Licenciada en Odontología

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II (Odontología Conservadora)



**INFLUENCIA SOBRE LA DUREZA DE LA DENTINA
RADICULAR DEL HIPOCLORITO DE SODIO, ÁCIDO
ETILENDIAMINOTETRAACÉTICO E IRRIGACIÓN
ULTRASÓNICA PASIVA**

TESIS DOCTORAL

Dña. Verónica Miguel Lago

Licenciada en Odontología

DIRECTOR

Dr. D. Ernesto García Barbero

*A mis padres y mi hermana,
por estar siempre ahí*

A Sergio, porque la vida sin ti perdería su gracia

AGRADECIMIENTOS

Cómo no, en primer lugar me gustaría mostrar mi más sincero agradecimiento al director de esta Tesis Doctoral, el Doctor Ernesto García Barbero, que siempre ha aguantado con una sonrisa todas mis persecuciones y me ha animado a seguir cuando tocaba a la puerta de su despacho, profundamente hundida porque las cosas no salían como esperaba.

Gracias por tu paciencia, por tu ayuda y por llevarme de la mano al mundo de la endodoncia, que se ha convertido más que en una maravillosa profesión en, casi, una forma de vida.

Quisiera dar las gracias a todas aquellas personas que dentro del Departamento de Odontología Conservadora me han arropado con su cariño y sus consejos, en especial al Dr. D. Enrique García Barbero, que fue el primero en guiarme en el largo camino del doctorado y que siempre ha estado dispuesto a ayudarme con sugerencias y ánimos para que este trabajo no se quedase a mitad.

También muy especialmente me gustaría agradecer a Mari Carmen, nuestra secretaria-madre, que me haya cuidado desde el primer día que puse el pie en el Máster de Endodoncia, y que cada día me haga sentir querida y respetada.

Esta Tesis no habría sido posible sin la colaboración de todo el personal del Laboratorio de Petrofísica de la Facultad de Ciencias Geológicas. Gracias a David, Elena, Blanca... por su paciencia, por estar siempre dispuestos a echar una mano, por haberme aceptado como una más en un mundo totalmente ajeno al mío e, incluso,

interesarse por saber qué se cuece en el mundo odontológico. Y sobre todo gracias a Mónica Álvarez de Buergo, que me abrió las puertas de este laboratorio y me hizo sentir como en casa.

Por supuesto, dar las gracias a mis padres. Ellos son los que me han enseñado lo que es el esfuerzo y el trabajo diario. Me han apoyado, y muchas veces financiado, en esta carrera académica sin fin, sin cuestionarme ni una sola vez. Sin ellos no habría llegado a ser lo que soy ahora.

También dar las gracias a mi hermana, que ha sido la mejor traductora que he podido encontrar, pero sobre todo por comprenderme y por hacerme creer que esto que hago es importante, dándome su apoyo incondicional.

No quisiera olvidarme de todos mis amigos, los que son dentistas y los que no, a los que he aburrido infinitamente hablando de datos que sólo yo entendía y que han sufrido conmigo, pero también se han alegrado conmigo. Gracias chicos, sois una parte importante de esta Tesis.

Por último, Sergio. El que más me ha acompañado en este viaje y en el resto de los viajes que conforman mi vida. Gracias por estar ahí, por ser comprensivo y estricto a partes iguales. Es por ti que siempre quiero ser mejor.

ÍNDICE

Justificación.....	13
Introducción.....	21
Hipótesis de trabajo.....	71
Objetivos.....	75
Material y método.....	79
Resultados.....	97
Discusión.....	115
Conclusiones.....	147
Abstract.....	151
Resumen.....	159
Bibliografía.....	165

—•JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

Las fisuras y fracturas verticales suponen para el clínico a día de hoy, uno de los retos más difíciles con los que se enfrenta en su práctica diaria.

Suponen un gran problema por su mal pronóstico. Es una gran preocupación clínica puesto que casi de forma inevitable conlleva la extracción del diente o la resección de la raíz afectada (1).

Además su diagnóstico no es fácil. Sólo se pueden diagnosticar de forma definitiva cuando se visualizan ya sea de forma directa o si existen imágenes de radiodiagnóstico que las confirmen, lo que ocurre en muy pocas ocasiones.

Habría que tener en cuenta la presencia de dolor suave, defectos óseos y bolsas localizadas (2) o que el test de mordida (3) sea positivo, y de esta manera haríamos más una “predicción” que un diagnóstico definitivo, basado en los síntomas y signos recogidos.

Podría decirse que lo más parecido a un signo clínico inequívoco de fractura es la presencia de una fístula dual o bolsas profundas y puntuales en lados opuestos de la raíz (4).

Además su prevalencia es elevada. Tamse en 1999 (5) indica que es del 2 al 5%, aunque es posible que ese porcentaje sea mayor a día de hoy (6).

Es por esa elevada prevalencia, su mal pronóstico y por la falta de precisión al diagnosticar las fisuras por lo que deberían intentar prevenirse, conociendo los factores predisponentes, y aunque algunos de ellos no son controlables por el

odontólogo, como los producidos por alteraciones psicológicas o estrés del paciente, otros sí que lo son y dependen en gran medida de nuestra actuación clínica.

Entre los factores dependientes del clínico, se encuentra la utilización de irrigantes durante el tratamiento endodóntico.

Los irrigantes son indispensables durante la preparación del conducto para poder disminuir el número de microorganismos y la presencia tanto de tejido blando como de limallas del interior del conducto radicular y así conseguir la curación de los tejidos periodontales (7).

El éxito del tratamiento va a depender de la limpieza, desinfección y posterior obturación tridimensional de este sistema de conductos (8) (9) (10).

Ya que la instrumentación, mecánica o manual, de los conductos radiculares es insuficiente para eliminar por sí misma, tanto los microorganismos como los *detritus* existentes en el complejo sistema de conductos radiculares, se necesita de los irrigantes que son los responsables de reducir el número de microorganismos y de disminuir los restos orgánicos e inorgánicos presentes en los conductos radiculares, que se encuentran en mayor cantidad en los conductos preparados sin solución irrigadora (11).

En suma podemos decir que una irrigación efectiva es esencial para conseguir el desbridamiento del conducto, ya que la sola instrumentación es insuficiente e inadecuada para este fin, pudiendo conducir a una disminución en el éxito del tratamiento (12).

Pero a día de hoy no existe un irrigante único que pueda efectuar por sí mismo todas las acciones requeridas para una irrigación efectiva, por tanto se recurre a la combinación de irrigantes, uno como desinfectante y otro como quelante.

Como irrigante con acción de desinfección, el más utilizado es el hipoclorito de sodio (NaOCl) (11) (13) y como agente quelante el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (14).

Ambos provocarán cambios en las características físicas y mecánicas del diente, disminuyendo su resistencia, lo que puede aumentar la incidencia de fracturas verticales.

Una de las características físicas que se ven alteradas por la utilización de irrigantes es la dureza.

Según Craig (15) la dureza es la resistencia de un material a la fractura, y representa la cantidad de energía que se necesita para romperlo.

Esas alteraciones de dureza se producen porque la dentina es sensible a los cambios que se producen en la superficie y composición de la estructura dental (9).

Los irrigantes endodónticos son capaces de cambiar la composición química de la dentina, mediante la eliminación de elementos tanto orgánicos, debido a su capacidad proteolítica degradando la matriz orgánica dentinaria (13), como inorgánicos. Sayin en 2009 indica que el hipoclorito de sodio también puede influir sobre los iones de calcio presentes en la hidroxiapatita (16), produciendo un trastorno

entre la ratio Calcio/Fósforo, lo que tiene como consecuencia un cambio en la relación entre componentes orgánicos e inorgánicos (17). Se obtiene así la modificación, entre otras características físicas, de la microdureza dentaria (9).

Es por eso que la determinación de la microdureza puede proveernos de evidencias medibles de pérdida o ganancia de minerales en los tejidos duros dentales (18) (19).

Se concluye así que es interesante medir la dureza dentinaria, aunque no sea el único parámetro a tener en cuenta en el análisis de la influencia de los irrigantes sobre la producción de fracturas verticales.

Otros autores, como Grigoratos (20), miden módulo de elasticidad o resistencia a la flexión con el objetivo de ver cómo afectan los irrigantes a las características físicas de los dientes.

Como ya se ha dicho, la dureza es un indicador de los cambios minerales de los tejidos duros del diente y además es un indicador de cuánta fuerza hay que ejercer para llegar al punto de fractura de un material.

Estos dos hechos llevan a pensar en las fracturas dentarias y la importancia que puede tener la disminución de la dureza sobre esta patología.

Saleh en su artículo de 1999 (21), discute la relevancia clínica de los irrigantes como debilitantes del diente tratado endodónticamente, pero es innegable que

suponen un efecto sumatorio y que existe una necesidad inexcusable de irrigar durante la preparación de los conductos radiculares.

Además, con las nuevas tendencias de endodoncia mínimamente invasiva (22) (23), se tiende a disminuir al máximo la pérdida de estructuras dentarias, con el objetivo de reducir los riesgos controlables de fractura achacables al tratamiento endodóntico.

Es por eso que resulta interesante saber hasta qué punto el uso de irrigantes puede afectar a la reducción de la microdureza del diente, ya que los cambios en esta característica física de la dentina están relacionados con las fracturas verticales y la irrigación durante el tratamiento endodóntico resulta ser imprescindible, convirtiéndose en un factor de riesgo mucho menos controlable.

—● INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1. Irrigantes

Uno de los objetivos primarios de la endodoncia es el de disminuir el número de microorganismos y eliminar el tejido blando y las limallas del interior del conducto radicular para así conseguir la curación de los tejidos periodontales (7) (24).

Es por eso que el éxito del tratamiento va a depender de la limpieza, desinfección y posterior obturación tridimensional de este sistema de conductos (10) (9) (25).

Fueron Kakehashi y sus colaboradores (26) en 1965 los primeros en demostrar que la existencia de bacterias en la pulpa conlleva a aparición de patología pulpar y la alteración del periápice.

Para llegar a un buen fin del tratamiento es fundamental la combinación de agentes físicos y químicos (7) y dentro de estos agentes químicos se encuentran los irrigantes, fundamentales a la hora de hacer frente a estas bacterias.

El facultativo debe conocer cuáles son las bacterias causantes de la infección pulpar y de los tejidos periapicales, para, de este modo, llevar a cabo un correcto tratamiento.

1.1. Microbiología de la endodoncia

Debido a las condiciones de baja concentración de oxígeno en el sistema de conductos radiculares, la mayoría de las bacterias presentes en una pulpa necrótica son anaerobios facultativos y estrictos. Estas mismas bacterias se encuentran en muchos casos también en las infecciones periodontales, aunque de una forma más compleja (27) (28).

El hecho de que la variedad bacteriana sea mayor en las infecciones periodontales se debe a que hay mayor disponibilidad de nutrientes y oxígeno que en los conductos con pulpas necróticas y por tanto, en las infecciones de origen endodóntico el número de especies bacterianas se ve limitado.

Las infecciones radiculares primarias son polimicrobianas, en las que predominan de forma típica los anaerobios estrictos. Los organismos que de forma más frecuente se pueden encontrar en un conducto radicular previamente al tratamiento son los de tipo bastón anaerobio Gram-Negativos, cocos anaerobios Gram-positivos, bastones Gram-Positivos anaerobios tanto facultativos como estrictos, Lactobacilos y Estreptococos Gram-positivos anaerobios facultativos (29).

Las bacterias anaerobias estrictas, especialmente las negropigmentadas, Gram negativas, están relacionadas con la inflamación perirradicular, que conlleva la reabsorción ósea (28).

Durante el tratamiento endodóntico, se eliminarán de manera más sencilla los anaerobios estrictos, mientras que los facultativos como Estreptococos no mutans, Enterococos y Lactobacilos, son más resistentes a la preparación químico-mecánica

(29) . Se sabe que en caso de retratamientos, la prevalencia mayor es para el *Streptococcus faecalis*.

Las bacterias infectantes del conducto radicular no actúan de forma aislada, sino que se tienden a asociarse entre ellas formando sistemas polimicrobianos. Esas uniones de microorganismos dentro de una matriz extracelular polisacárida asociada a una superficie, reciben el nombre de *biofilm*. De esta manera se hacen más resistentes al tratamiento.

1.2. Necesidad del empleo de irrigantes.

La instrumentación, mecánica o manual, de los conductos radiculares es insuficiente para eliminar, por sí misma, tanto los microorganismos como los *detritus* existentes en el complejo sistema de conductos radiculares.

Durante el tratamiento endodóntico es importante no solo reducir el número de microorganismos, sino también disminuir los restos orgánicos e inorgánicos presente en los conductos radiculares, que se encuentran en mayor cantidad en los conductos preparados sin solución irrigadora (11)

Esto es así porque los remanentes de tejido blando necrótico pueden constituir una fuente de alimento para la supervivencia de los microorganismos tras el tratamiento de conductos (30).

Además la morfología radicular está compuesta por un complejo sistema de conductos laterales, istmos y conductos accesorios que presentan un gran reto para

la completa eliminación de restos pulpares y limallas mediante la instrumentación (12) (31).

Por si esto fuera insuficiente, la propia instrumentación produce compuestos tanto de tejido calcificado inorgánico como orgánico procedente del tejido pulpar, microorganismos y células sanguíneas en los túbulos dentinarios (9).

Una irrigación efectiva es esencial para conseguir el desbridamiento del sistema de conductos, ya que la sola instrumentación es insuficiente e inadecuada para este fin, pudiendo conducir a una disminución en el éxito del tratamiento (12).

Es por ello que es necesario la utilización de distintos productos durante el tratamiento endodóntico que complementen el trabajo que llevan a cabo los instrumentos, de tal manera que se consiga, mediante la limpieza mecánica y la habilidad química del irrigante, acabar con las bacterias, destruir el biofilm y disolver los tejidos remanentes (32).

1.3. Características del irrigante ideal

Siguiendo la línea de autores clásicos como Cohen (33), los requisitos que debe cumplir un irrigante es que debe:

- Hacer un desbridamiento tosco
- Eliminar las bacterias
- Lubricar
- Eliminar el barrillo dentinario

- Disolver restos pulpares
- No irritar

A lo dicho, se puede añadir las otras características aportadas por Weine (34):

- Al aportar un medio húmedo, los irrigantes deben permitir que las limallas de dentina refloten para ser extraídas y no se apelmacen
- Debe disminuir la probabilidad de romper una lima
- Debe poseer acción blanqueante

Desde un punto de vista más actual, Zehnder (29) complementa a los dos autores anteriores diciendo que los irrigantes deben:

- Tener un amplio espectro antimicrobiano en contra de anaerobios tanto estrictos como facultativos organizados en biofilms.
- Disolver tejido pulpar necrótico remanente
- Inactivar endotoxinas bacterianas
- Prevenir la formación de barrillo dentinario durante la instrumentación o disolverla tras su formación
- Tienen que ser sistemáticamente no tóxicos, no cáusticos para el tejido periodontal y deben tener un potencial de creación de reacciones anafilácticas muy pequeño.

A día de hoy no existe un irrigante único que cumpla por sí mismo con todas las características de una forma total. Ese es el motivo de que se recurra a una combinación de diferentes sustancias que lleven a las mejores condiciones posibles al sistema de conductos radicular.

En general, se recurre a la suma de acciones de un agente principalmente desinfectante y otro eminentemente quelante.

Como irrigante con acción de desinfección, el más utilizado es el hipoclorito de sodio (NaOCl) (11), (13) y como agente quelante el ácido dietilenodiaminotetracético (EDTA) (14).

2. Hipoclorito de Sodio

Durante la Primera Guerra Mundial, Dakin (35) aconseja el limpiar las heridas producidas con una solución al 0,5% de hipoclorito de sodio, con un pH de 9.

Posteriormente, serán Grossman y Meiman (36) quienes demuestren la capacidad química para disolver tejido pulpar tanto necrótico como vital.

Por este motivo, el NaOCl se lleva usando desde hace más de 70 años como irrigante endodóntico (37).

A día de hoy es el irrigante más empleado. (27) (11) (34) (38) (39), ya que tiene un gran efecto antimicrobiano superior cuando se compara con otros desinfectantes (40).

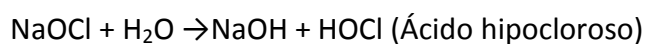
En la literatura podemos encontrar que se utiliza en concentraciones del 0,5 al 6% (37) (39), aunque según algunos autores su concentración óptima es de 5,25% (41).

Aumentado su concentración se mejora la penetración del hipoclorito de sodio en los túbulos dentinarios, aunque no se consiguen eliminar totalmente de su interior (42).

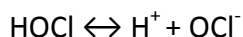
En cuanto a sus características generales, se puede decir que es un producto barato, fácilmente accesible y que tiene una buena conservación (29).

Químicamente, se trata de un agente alcalino, con pH de entre 12 y 13 en soluciones con concentración del 5,25 al 6% y que además es hipertónico (40). Desde un punto de vista biológico, es un buen agente antimicrobiano.

Para poder comprender cómo actúa el hipoclorito de sodio en el conducto radicular, hay que pensar que cuando añadimos NaOCl al agua se produce la siguiente reacción (31):



Este ácido hipocloroso, en una solución acuosa, se disocia parcialmente en el anión hipoclorito (OCl^-)



Se define la clorina “disponible” como la suma del ácido hipocloroso y del anión hipoclorito. Este concepto se puede definir como la capacidad de oxidación y se expresa en términos de clorina elemental (31).

Dentro de este proceso de disociación es el ácido hipocloroso el que se considera la parte activa, responsable de la capacidad antibacteriana.

Actúa produciendo la oxidación de los grupos sulfhidrilo presentes en los sistemas enzimáticos bacterianos, lo que interrumpe el metabolismo del microorganismo. (43)

Esto ocurre de la siguiente forma: el NaOCl oxida e hidroliza las proteínas celulares y, en cierto modo, hace que los fluidos salgan osmóticamente de las células debidas a su hipertonidad. Ya que el hipoclorito de sodio tiene un pH de entre 11 y 12, cuando contacta con las proteínas tisulares se forma nitrógeno, formaldehído y acetaldehído en un periodo corto de tiempo, lo que produce que las uniones peptídicas se rompan, conllevando la disolución de las proteínas. Durante este proceso, la clorina reemplaza al hidrógeno de los grupos amino, lo que es fundamental en la efectividad bacteriana. Es por eso que el hipoclorito es muy tóxico par los tejidos vivos en concentraciones no diluidas (44).

Si comparamos las capacidades del NaOCl con las del irrigante ideal ya comentadas vemos que:

- Es bactericida (38). Es efectivo para eliminar microorganismos como *Enterococcus*, *Actinomyces* y *Cándida* (37), ya que se considera que, a altas concentraciones, tiene efecto fungicida (39).
- Es capaz de alterar el biofilm (45).
- Tiene la capacidad de desnaturalizar toxinas (46).
- Tiene buena capacidad de disolver tejido orgánico (47), afectando tanto al tejido pulpar como al colágeno gracias a su potente acción proteolítica (37) (38) (20).
- Aporta un medio líquido que ayuda a eliminar las limallas y proporciona lubricación.
- Tiene una ligera capacidad blanqueadora.

Además, todas estas características positivas se pueden mejorar modificando factores como son:

2.1. pH

Las soluciones de hipoclorito de sodio disponibles en el mercado tienen un pH básico, como ya se comentó anteriormente, porque se encuentra así en la naturaleza y porque es la forma más estable de almacenamiento.

Se sabe que si el pH de la solución se encuentra entre 4 y 7, predomina el ácido hipocloroso y si está por encima del pH 7.6, se encuentra en mayor cantidad el ion hipoclorito (29) (40).

Es por eso que se podría pensar que una forma de aumentar la eficacia del hipoclorito de sodio como agente antibacteriano es disminuir su pH, pero una forma ácida de hipoclorito supone una forma más inestable

Si por el contrario, se alcalinizara una solución, siendo ésta más estable, se conseguiría una mayor eficacia al disolver tejido blando, lo que haría disminuir el tiempo de trabajo del hipoclorito (40).

El mayor inconveniente supone que esa mayor capacidad para disolver tejido blando, afectaría también al componente inorgánico de la dentina, lo que puede suponer alteraciones en sus características físicas (48).

Además, hay que tener en cuenta según el estudio de Camps y colaboradores de 2009 (49) que, aunque las soluciones clásicas de NaOCl alcalino pueden permanecer casi estables durante semanas o meses, incluso si se exponen a la luz solar, esta situación cambia si se prepara la solución alcalina tal y como ellos proponen, (mezclar

1 volumen de NaOCl 10% y 3 volúmenes de HCl al 0.2 mol/L) ya que pasadas 5 horas desde la preparación el pH disminuye y la cantidad de clorina disponible es muy pobre. Esto hace pensar que la estabilidad de las soluciones alcalinas es dependiente del método en el que se consigan.

2.2. Concentración

En la literatura podemos encontrar diferentes concentraciones que van desde el 0,5% como es la solución de Dakin (35) al 6%.

Senia en 1971 (50) muestra que las concentraciones de 5,25% es suficiente para eliminar tanto formas vegetativas como esporas, atacar biofilms y lograr la inactivación de los Gram negativos.

De esta manera se convierte en la concentración más difundida en la práctica general, ya que cuanto mayor sea la concentración mayor será también el riesgo en cuanto a citotoxicidad y posible alteración de las propiedades mecánicas.

Al disminuir la concentración podemos ver una gran disminución de su capacidad de disolución de tejidos. Según Harrison y colaboradores en 1981 (51) encontraron que una solución de 2,5% solo tiene un tercio de la capacidad para disolver tejido orgánico del 5,25%.

En un estudio más reciente de 2010 de Stojicic y colaboradores (52), se vio que la pérdida en peso de tejido blando durante los primeros 5 minutos con una solución al 2,5% era la misma que el la conseguida con el grupo control de agua destilada en el

mismo tiempo y que incluso para soluciones del 1% durante 5 minutos no existía pérdida sino ganancia (probablemente debida a la hidratación).

2.3. Temperatura

Aumentar la temperatura del hipoclorito de sodio conlleva una mayor remoción de tejido orgánico que aquellas soluciones que no han sido calentadas.

De hecho se sabe que se consigue más del doble de la capacidad bactericida del hipoclorito de sodio por cada 5° C de aumento de temperatura en un rango de 5 a 60°C (53).

Un ejemplo sería el estudio de Sirtes y colaboradores de 2005 (54), en el que encuentran que la capacidad para disolver pulpa humana para el NaOCl al 1% y 45°C es la misma que para el NaOCl al 5,25% y 20°C.

Así mismo, si aumentamos la temperatura en altas concentraciones, aumentamos el riesgo de citotoxicidad.

2.4. Activación del Hipoclorito de Sodio

Se han desarrollado medios y técnicas para activar el irrigante y así ayudar a aumentar la efectividad del mismo en el sistema de conductos (12).

En función de medio de activación del irrigante se obtendrán diferentes resultados, aunque se sabe que el completo desbridamiento del sistema de conductos radicular es una utopía debido a las irregularidades morfológicas, como pueden ser los conductos laterales, deltas apicales o ramificaciones. Como ya se dijo, el objetivo del tratamiento de conductos es el de disminuir el número de bacterias, limallas y tejido blando del conducto radicular.

Es por eso que se utilizan diversas técnicas que ayuden a mejorar la eficacia de los irrigantes, y entre ellas se encuentra su activación.

Se puede distinguir entre dos tipos de irrigación activada:

- a) Activada manualmente
- b) Activada mediante dispositivos

a) Activada manualmente

a.1. Irrigación con jeringas o cánulas

Consiste en dispensar un irrigante en el conducto con agujas o cánulas de diferentes diámetros, tanto pasiva como activamente. Esta última se produce mediante movimientos de arriba abajo en el interior del conducto.

Aunque es una técnica que permite el control del volumen y la profundidad de penetración del irrigante, tiene la desventaja de que le resulta difícil llegar a los conductos laterales o a las irregularidades morfológicas del sistema de conductos (55).

Para mejorar esta técnica se puede aproximar más la aguja al tercio apical, y para ello se necesitarán agujas más finas, ensanchar más los conductos o utilizar un mayor volumen de irrigante.

a.2. Irrigación manual dinámica

Se realiza en un conducto que ya haya sido instrumentado, utilizando una gutapercha bien ajustada a ese conducto, con movimientos arriba y debajo de 2 a 3mm e incluso 5mm (55) (56).

Hay varias maneras de explicar la mayor eficacia de la irrigación manual dinámica versus irrigación pasiva o irrigación automática dinámica (sistema RinsEndo, Dürr Dental, Bietghein-Bissinger, Alemania) (40) (55): cuando se inserta un cono de gutapercha bien adaptado al conducto, se producen diferentes grados de presión, lo que hace que el irrigante se reparta mejor hacia zonas no instrumentadas. El movimiento de inserción-desinserción de esa gutapercha produce turbulencias intraconducto que actúan por extensión física cortando las láminas de fluido dominado por la viscosidad como es el del sistema de conductos, lo que produce una mejor mezcla entre las soluciones teniendo en cuenta que las dos soluciones son la que aún no ha reaccionado y la que ya está agotada al haber actuado sobre los detritus intraconducto.

Se trata de una opción barata y con buena relación simplicidad-efectividad.

b) Activación mediante dispositivos

b.1. Dispositivos que producen presiones alternadas

La mayor dificultad que se encuentran los irrigantes para alcanzar el tercio apical es el atrapamiento de aire (50).

Es por eso que se desarrollan estos dispositivos basados en la utilización de una presión negativa, cuyo mayor exponente es el EndoVac (Discus Dental, Culver City, Estados Unidos).

En este sistema, usando una combinación de una macro y una microcánula unida a la unidad de aspiración del equipo, se deposita irrigante en la cámara pulpar, de tal manera que éste es llevado hasta la punta de la cánula gracias a la presión negativa y es eliminado por la manguera de aspiración. Ya que el diámetro de la microcánula es de 0.32mm, se puede colocar a longitud de trabajo siempre que el conducto esté preparado hasta un calibre ISO 35 o más.

En suma, podemos decir que el Endo Vac consiste en dos cánulas, una de mayor tamaño que otra, que se conectan mediante un tubo a una jeringa de irrigante y a la unidad de succión del equipo dental.

Según el estudio de Nielsen y Baumgartner de 2007, si comparamos el volumen de irrigante que puede administrar el sistema EndoVac es mucho mayor que el conseguido por la irrigación mediante aguja convencional. Además se conseguiría un mejor desbridamiento a 1mm de longitud de trabajo (57).

b.2. Sistemas de activación sónica

Este sistema introducido por Tronstad en 1985 (58) trabaja a baja frecuencia (de 1 a 6kHz), produciendo un bajo estrés de corte.

Trabaja de tal manera que produce un nodo (oscilación de la amplitud mínima) en la zona más alejada de la punta del instrumento y un antinodo (oscilación de la amplitud máxima) en la misma punta, lo que se traduce en una oscilación longitudinal pura del instrumento (59).

Como ejemplo de este tipo de dispositivos, está el EndoActivator System (Dentsply Tulsa DentalSpecialties Tulsa, Estados Unidos) diseñado por los doctores Ruddle, Sharp y Machtou con tres tamaños de puntas, todas ellas pensadas para ser fuertes, flexibles y que no se rompan fácilmente. Su superficie es lisa y no corta la dentina.

Son efectivas en la limpieza de detritus de los conductos laterales, eliminando barrillo dentinario, y desestructurando biofilms simulados en conductos curvos (55).

Su principal desventaja es que al ser de un polímero radiolúcido, en el caso de que se produzca una fractura del instrumento en el interior del conducto, no será posible localizarla con radiografía.

b.3. Sistemas de irrigación ultrasónicos

Aunque fue en 1957 Richman quién introdujera el uso de los ultrasonidos en endodoncia (60), no fue hasta 1980 que Martin y colaboradores (61) quienes desarrollaron un dispositivo de uso endodóntico.

Se puede considerar la existencia de dos tipos de irrigación ultrasónica:

- Una combinación de instrumentación e irrigación de forma simultánea.
- La llamada “irrigación ultrasónica pasiva”, en la que instrumentación contribuye a la irrigación pero no instrumenta.

El primero de los tipos conlleva riesgos en la instrumentación, ya que no se llega a tener un buen control en el corte de la dentina y puede deformar el conducto.

La que sí se considera más interesante es la “irrigación ultrasónica pasiva” (IUP), ya que los estudios han demostrado una mejoría en la limpieza de los conductos radiculares con respecto a irrigación convencional (62).

Esta técnica introducida por Weller en 1980 (63) describe un tipo de actuación que no conlleva instrumentación ni contacto con las paredes del conducto.

Se basa en la transmisión de energía acústica de un instrumento suave o una lima al irrigante en el conducto.

La energía ultrasónica se produce a frecuencias altas y bajas amplitudes, si la comparamos con la sónica.

Las limas oscilarán a una frecuencia de unos 30kHz y con una intensidad que dependerá de la generada por el aparato. La energía que se transmite de la lima que oscila de manera ultrasónica al irrigante está condicionada por la frecuencia y por la intensidad, aunque no se sabe cómo exactamente (64)

Para explicar el mecanismo de acción de IUP tenemos que tener en cuenta dos factores:

- La corriente acústica: que es un movimiento rápido de fluido que se produce de manera circular o como un vórtice alrededor de la lima en vibración. (65)

La intensidad de esa corriente está directamente relacionada con la velocidad del flujo. Se puede decir que cuanto más fina sea la lima, mayor será la velocidad del flujo que se produce, pero esto no sigue un patrón lineal.

El movimiento producido por esa corriente acústica produce estrés en las paredes del conducto y de esta manera se pueden remover restos orgánicos o inorgánicos y bacterias de la misma (66).

- Cavitación: Con este término nos referiremos a cavitación acústica, es decir, creación de nuevas burbujas o expansión, contracción y/o distorsión de las burbujas ya existentes en un líquido gracias a una energía acústica.

Cuando aplicamos una agitación sónica o ultrasónica a un líquido, como pueden ser los irrigantes endodónticos, se producen burbujas de cavitación que pueden existir en forma inercial o no inercial. Las no inerciales experimentan una pulsación lineal tras ser expuestas a una vibración de baja amplitud. Las inerciales experimentan

pulsaciones de alta energía y colapsan, generando olas capaces de romper biofilms y matar directamente a las bacterias.

Los sistemas ultrasónicos generan, predominantemente, pequeñas burbujas no cavitantes que causan microcorrientes y producen estrés de corte en la pared del conducto (67).

Jensen y colaboradores definen la irrigación ultrasónica pasiva en su artículo de 1999 como aquella en la que “no hay ningún intento de instrumentar, hacer movimientos de cepillado o contactar con las paredes del conducto con la lima” (68).

Aunque esto es así en teoría, hay estudios como el de Boutsioukis y colaboradores en 2013 que miden el contacto que se produce con el instrumento con la pared del conducto mientras se realiza irrigación ultrasónica pasiva. Lo desarrollan con 15 participantes entrenados y otros tantos no entrenados y obtienen como resultado que en todos los casos estudiados existe contacto (69).

Siguiendo el esquema empleado por van der Sluis y colaboradores en su artículo de revisión de 2007 (64) diremos que los efectos producidos por IUP serían:

- a) IUP frente a irrigación con jeringa: se considera que la irrigación ultrasónica pasiva es más efectiva que la irrigación con jeringa (55) (62) (70) Puede deberse a la mayor velocidad y volumen de flujo de irrigante que se produce en el interior del conducto con IUP (71).

- b) IUP usado con NaOCl como irrigante: el hipoclorito de sodio elimina más bacterias, barrillo dentinario, tejido pulpar o restos dentinarios del conducto que el agua. Aunque en el estudio de Weber y colaboradores del 2003 se muestra que la clorhexidina al 2% tiene mayor actividad antimicrobiana residual que el NaOCl al 5,25% ya sea por sí mismo o con una activación final ultrasónica pasiva (72). En general, se puede decir que aquellos protocolos de irrigación final que incluyen UIP son más efectivos para eliminar los detritos presentes en las irregularidades del conducto que si no se hace esta activación tanto con clorhexidina como con hipoclorito de sodio. (73)
- c) Eliminación de bacterias: UIP es más eficaz eliminando bacterias que la irrigación con jeringa (72), (74) (75), pero menos efectivos eliminando el biofilm con hipoclorito al 6% que el láser (76). Aun así, el uso de UIP puede contribuir significativamente a disminuir el contenido microbiano durante el tratamiento endodóntico (77).
- d) Eliminación de barrillo dentinario: en la literatura se puede encontrar que ni la activación sónica, ni la presión negativa ni la irrigación ultrasónica pasiva eliminan completamente el barrillo, aunque se consiguen mejores resultados con las dos primeras (78) .

También se puede ver que la agitación manual mecánica y los sistemas de presión negativa consiguen mejores resultados que IUP o irrigación sónica a la hora de eliminar barrillo dentinario (79).

- e) IUP conductos curvos: también es efectivo en conductos curvos.
- f) IUP y limpieza de istmos y conductos laterales: la irrigación ultrasónica pasiva tiene el potencial de ayudar al irrigante a penetrar en zonas que no han sido tocadas por los instrumentos, como son conductos laterales e istmos (62) (80).
- g) Irrigación ultrasónica frente a irrigación sónica: en principio, la positiva relación entre la velocidad de flujo y la frecuencia pudiera explicar la mayor eficacia de IUP (64). En el estudio de Jensen y colaboradores, que

encuentran que los conductos tratados con IUP se encuentran significativamente más limpios que los tratados con irrigación sónica (81).

Sin embargo, en la literatura podemos encontrar ejemplos de estudios que hablan de una efectividad comparable entre irrigación sónica y ultrasónica en conductos instrumentados en cuanto a limpieza de residuos. (68). Además existen otras técnicas de activación del irrigante, como son la activación por láser o las técnicas de presión negativa que no presentan, según estudios, diferencias estadísticamente significativas con el IUP (7) (82).

- h) Calentamiento de la dentina: aunque existen cambios en la temperatura de la superficie externa de la raíz, y en el caso de otros usos de los ultrasonidos en la odontología puedan tener un impacto significativo (83), la utilización de IUP no supone un cambio patológico.

Incluso con sus deficiencias y debido a las ventajas en limpieza que aportan, la literatura refleja un gran número de sistemas y técnicas de activación de los irrigantes (55).

Pero el hipoclorito de sodio, a pesar de ser activado, no cumple con algunos de los requisitos exigidos a un irrigante ideal, ya que existen aspectos en los que no tiene un buen comportamiento:

- Se trata de un agente citotóxico. El NaOCl es peligroso cuando sale fuera del conducto radicular, creando daños cuando entra en contacto con los tejidos periapicales
- Debido a su capacidad proteolítica puede afectar a las características mecánicas de la dentina, ya que puede degradar la matriz orgánica dentinaria (13)

- Hay autores que indican la posibilidad de que afecte también el ratio Calcio-Fósforo de la hidroxiapatita (17), incrementando la cantidad de carbonato y aumentando la de fosfato (84) (85) lo que también puede sugerir alteraciones mecánicas secundarias a la afectación de la matriz inorgánica (86)
- No es efectivo contra el *Enterococcus faecalis* (87)
- No es eficaz eliminando barrillo dentinario (41) (88)
- Tiene mal olor y sabor
- Tiene potencial corrosivo (11)
- Puede, posiblemente, producir alergias (89)

Aunque no todas las características negativas son evitables, sí podemos mejorar los resultados obtenidos tras la irrigación con NaOCl si combinamos su uso con otros agentes.

Añadiendo un agente quelante se consigue mejorar la capacidad de eliminar los restos inorgánicos, aunque no mejore otros de los aspectos negativos del hipoclorito de sodio.

Por este motivo, y para mejorar la limpieza del conducto radicular, eliminando más restos inorgánicos, se puede irrigarse con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

3. **Ácido Etilendiaminotetraacético**

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) fue introducido por Nygaard-Ostby en 1957 (37) (40) como parte del tratamiento endodóntico con el objetivo de ayudar en la preparación de conductos estrechos y/o calcificados.

En la literatura, su concentración más usada es al 17% (10) (9) (44) y puede presentarse como líquido o como pasta. Este último aparece en 1961 cuando Stewart prepara una mezcla con peróxido de urea con glicerol (90).

La quelación es un proceso definido como un “Proceso fisicoquímico de captación de iones positivos multivalentes (calcio, cobre, plomo, mercurio, hierro, cromo) por ciertos cuerpos: agentes quelantes complexores, tales como los derivados del ácido etilendiaminotetraacético” (91).

El EDTA puede formar complejos estables de calcio con el barrillo dentinario, detritus y con el calcio de las propias paredes del conducto.

Actúa reemplazando iones calcio por iones sodio, lo que hacen que la dentina sea más soluble (92).

Se trata de un proceso auto limitado, porque al formar dichos complejos estables, se producen protones y el EDTA es sensible a la disminución del pH (37) (93). .

Aun así, la acción de este agente puede durar hasta cinco días, por tanto es necesario que se neutralice con NaOCl (92) , puesto que éste se trata de un agente básico.

Ese efecto quelante depende de la amplitud del conducto y de la cantidad de sustancia activa existente durante la duración de proceso de desmineralización que perdurará hasta que todas las moléculas del EDTA hayan creado complejos cálcicos.

Se emplea con el objetivo de ayudar químicamente al ensanche de los conductos radiculares, eliminar el barrillo dentinario y preparar las paredes dentinarias y así conseguir una mejor adhesión de los materiales de relleno. (14)

No se conoce a ciencia cierta el tiempo ideal para la utilización del EDTA. En la literatura encontramos tiempos entre 1 y 5 minutos (94), aunque se establece que un tiempo de 3 minutos de EDTA al 17% debería ser suficiente para eliminar toda la parte inorgánica del barrillo dentinario (95) y además es un tiempo clínicamente recomendado según Marender en 2007 (96) .

Entre sus características positivas como irrigante destacan:

- Al formar complejos con el calcio de barrillo y detritus, favorece la limpieza del conducto.
- Ya que arrastra barrillo, permite localizar conductos
- En la presentación tipo pasta ayuda a lubricar el conducto (aunque puede ser debido más a los componentes con los que se combina al propio EDTA)
- Al igual que el hipoclorito, en su forma líquida, aporta un medio líquido que ayuda a eliminar las limallas

- Puede ayudar a que los biofilms ligados a la pared del conducto se separen de ésta, produciendo una reducción de la carga microbológica si lo comparamos con una solución salina, a pesar de tener una capacidad antiséptica limitada (29)
- Es altamente biocompatible

Por el contrario, como carencias podríamos señalar:

- Como ya se dijo anteriormente, sus capacidades antisépticas son limitadas.
- No disuelve tejido orgánico
- Produce desmineralización de tejidos duros, por lo que puede tener como consecuencia cambios profundos en la estructura dentinaria, pudiendo llevar al debilitamiento de la misma o a la dificultad de adaptación de los tejidos de relleno al interior del conducto.

Por todo lo dicho, el EDTA tampoco constituye por sí solo un irrigante ideal, de tal manera que se debe pensar en que su combinación con NaOCl aportará al tratamiento endodóntico grandes beneficios.

4. Combinación de irrigantes

Para obtener los beneficios que aportan uno y otro irrigante, es interesante combinar los dos ya que entre sí compensan las carencias el uno del otro.

El hipoclorito de sodio y el EDTA interaccionan entre ellos, disminuyendo considerablemente la clorina disponible en la disolución, por lo que el NaOCl se vuelve inactivo frente a bacterias y tejido necrótico (97). Por esta razón, no se deben utilizar de manera simultánea.

Hay que considerar en qué orden deben emplearse los irrigantes, ya que, por ejemplo, aunque sea importante la eliminación del barrillo dentinario para la limpieza de los conductos radiculares, si hacemos el último lavado con EDTA podría no eliminarse de forma correcta la parte orgánica de ese barrillo. Además, tratándose de un ácido, su acción se podría mantener por un tiempo indeterminado sin poder controlar su duración.

Niu y colaboradores en 2002 demostraron que el EDTA al 15% seguido de NaOCl al 6% elimina más detritus que el EDTA por sí mismo, a pesar de que produce una aceleración de la erosión dentinaria (98).

Además Yamada y colaboradores indican que la mejor manera de eliminar el barrillo dentinario es un penúltimo lavado con 10ml de EDTA al 17% seguido de uno de NaOCl al 5.25% (94).

Si seguimos la pauta recomendada por Zehner en 2006 (29) se debe irrigar exclusiva y copiosamente con hipoclorito durante la instrumentación, sin alternar con

el quelante. Una vez concluida la fase de instrumentación debe hacerse un penúltimo lavado con 10ml de EDTA o ácido cítrico durante un minuto, siendo cautos en el tiempo empleado ya que la dureza de la dentina y su módulo elástico dependen del contenido mineral de la misma. Como último lavado, recomienda utilizar hipoclorito si después se va a usar hidróxido de calcio como medicamento intraconducto para neutralizar el EDTA Si la intención es la de completar el tratamiento endodóntico en una sola sesión, y con el objetivo aumentar el efecto antiséptico, entonces recomienda el uso de clorhexidina debido a su substantividad.

Aunque es cierto que el empleo de estos dos compuestos de forma combinada aportan la mejor situación en cuanto eliminación de barrillo y disminución de carga microbiológica, hay que tener en cuenta que autores como Sayin en 2007 nos advierten de que el uso de EDTA solo o previamente al hipoclorito de sodio suponen la máxima disminución de microdureza en la dentina en comparación a otras sustancias (10).

Esto puede ser debido a que, tal y como muestran Doğan y Çalt en su estudio de 2001 (17), la combinación de EDTA con hipoclorito de sodio como irrigación final o el hipoclorito por sí mismo cambian el ratio calcio/fósforo de forma significativa en la dentina radicular. Además, se incrementa de manera significativa el nivel de magnesio con el uso de la combinación quelante/hipoclorito. Ellos concluyen que el empleo de NaOCl como irrigación final altera la efectividad de los agentes quelantes.

Si se sigue el estudio realizado por Zang y colaboradores en 2010, ellos indican que los cambios que se producen en las características físicas dentinarias, como es la disminución de la resistencia a la flexión, no está tan relacionada a la desmineralización subsiguiente a utilizar EDTA como irrigante final sino que es más dependiente de la concentración y el tiempo empleados en el uso del NaOCl (99).

Otro estudio que considera que no existen alteraciones en el módulo de elasticidad o la resistencia a la flexión de la dentina, al menos dentro de la secuencias que ellos proponen, son Marending y colaboradores en 2007 (96), lo cual justifican por la corta duración de su secuencia de 3 minutos y porque es posible que el hecho de que al quedar presencia durante la secuencia de irrigación de EDTA, éste haya reducido la acción del hipoclorito, bloqueando su acción proteolítica.

Teniendo en cuenta todo esto y a pesar de que esta unión produzca mejores resultados al fijarse en eliminación de barrillo y tejido pulpar necrótico y bacterias, no se deben olvidar los efectos negativos que conlleva la utilización de esta combinación de líquidos irrigantes.

5. Estructura de la dentina

Algunos agentes químicos, como pueden ser los irrigantes endodónticos, pueden alterar las propiedades mecánicas de la dentina. Para comprender cómo y por qué, es importante conocer la composición y estructura de ésta.

La dentina es la mayor de las estructuras existentes en el diente. Cubre toda la longitud del mismo, protegida en el exterior por el esmalte en la corona y por el cemento en la raíz. Internamente forma las paredes de la cámara pulpar y el conducto radicular.

Está formada por entre un 45 y un 75% de materia orgánica según las fuentes consultada (100) (101) (102) (103) y el resto entre materia orgánica y agua.

La materia orgánica se trata principalmente de colágeno tipo I, hasta un 93% del total, que forma una red intrincada en el tejido inorgánico. El resto serán pequeñas cantidades de polisacáridos, lípidos y proteínas.

El colágeno de la dentina se organiza en el patrón normal de alineación de unidades de protocolágeno que compone las fibras de colágeno polimerizado. Durante el proceso de polimerización y de la producción de uniones cruzadas intermoleculares, las fibras de colágeno alcanzan sus características físicas. El cambio en esas uniones cruzadas puede contribuir al llamada “fragilidad” de los dientes desvitalizados. Existen más uniones cruzadas inmaduras y menos maduras en los dientes tratados endodónticamente, lo que puede contribuir a la pérdida en la resistencia a la tensión que se supone en estos casos (104)

La materia inorgánica está compuesta por cristales hexagonales de hidroxiapatita, que tienen una longitud promedio de 200 a 1000Å , con una anchura de unos 30Å , menores que los presentes en el esmalte aunque similares a los del cemento y los del hueso, y con fórmula $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Además pueden encontrarse otros elementos como flúor, hierro, cobre, zinc, etc. pero en cantidades mínimas.

No se trata de una estructura compacta, sino más bien se encuentra organizada de tal manera que unos *túbulos dentinarios* que se extienden por toda la masa de dentina, desde la unión amelo o cementodentinaria hasta la pulpa.

La dentina se distribuye como *dentina intertubular*, en la que hidroxiapatita se encuentra incrustada en la matriz de colágeno, y una *dentina peritubular*, libre de colágeno, que supone la pared de esos túbulos y que está hipermineralizada.

Se considera que la dentina forma parte de un complejo denominado “Dentino-Pulpar”, ya que dentro de esos túbulos se alojan las prolongaciones celulares citoplasmáticas de los odontoblastos que son largas y delgadas, denominadas Fibras de Tomes. Los cuerpos celulares de estos odontoblastos se encuentran en la pulpa dentaria.

Además, en el interior de esos túbulos también se encuentra el líquido dentinario, responsable en parte del mecanismo sensorial de la dentina.

Se dice que el movimiento de este líquido dentro de los túbulos debido a cambios mecánicos como variaciones de temperatura, deshidratación de la dentina o el uso de químicos, activa las terminaciones nerviosas, produciendo sensibilidad. Aunque este mecanismo no es del todo conocido (100).

Histológicamente, son los odontoblastos los que van produciendo la dentina mientras progresan hacia el interior en dirección a la pulpa. Los túbulos se ven obligados a aproximarse entre ellos, siendo más abundantes y más anchos según se alejan de la superficie exterior del diente para aproximarse a la pulpa.

El número de túbulos aumenta de entre 15.000 a 20.000/mm² en la unión amelodentinaria a entre 45.000 a 65.000/mm². Y su diámetro aumenta de 0,5 o 0,9µm hasta 2-3µm. (101) (103)

Físicamente, la dentina es un color blanco-amarillento, ligeramente más oscura que el esmalte. Su superficie es también más opaca y pálida y menos reflectante a la luz que el esmalte.

En cuanto a propiedades mecánicas, su módulo de elasticidad es de $1,7 \times 10^6$ lb/pulg², haciendo que sea más flexible que el esmalte, lo que ayuda a soportarlo puesto que éste es más frágil. Tiene una fuerza tensil inferior al hueso cortical y más o menos la mitad que la del esmalte y una fuerza compresiva mucho mayor (266MPa).

Hay que tener en cuenta que es una estructura más blanda que el esmalte, pero más dura que el cemento y el hueso. Su dureza media (68 ± 3 en la escala Knoop) es unas tres veces mayor en la unión dentina-esmalte que cerca de la pulpa y aumenta con la edad.

La ratio Calcio/Fósforo de la hidroxiapatita en la dentina, que es lo que básicamente determina la composición de los tejidos duros en el diente, es aproximadamente de 1,6M. Esta ratio puede verse alterada por el uso de agentes químicos, cambiando la estructura química de la dentina y produciendo variaciones en

la ratio inicial entre componentes orgánicos e inorgánicos. Todo esto puede conllevar a diferencias con las características físico-químicas iniciales del diente (17) (105) (106).

También es posible cambiar estas propiedades cuando la parte orgánica del diente es expuesta a agentes químicos. El hipoclorito de sodio ataca a las proteínas de forma inespecífica. De esta manera puede producir una alteración en la matriz colágena no mineralizada del diente, como es el caso de las fibras colágenas que quedan expuestas tras la utilización de un quelante, como el EDTA. En estos casos el módulo de elasticidad y la microdureza del diente se pueden ver disminuidos (107).

Por todo esto, cuando empleamos irrigantes durante el tratamiento endodóntico estamos variando en cierta medida el comportamiento de la dentina.

Esta nueva situación, junto a las circunstancias que rodean al diente tratado endodónticamente como son la falta de tejido dentario, grandes reconstrucciones, etc. pueden producir un debilitamiento en las estructuras del diente, lo que facilita que el diente sufra una fractura vertical.

Por estas razones, debemos conocer la incidencia que pueden tener nuestros tratamientos en la aparición de las mismas.

6. Fracturas verticales

Como ya se ha dicho, las alteraciones que se producen en la dentina durante el tratamiento endodóntico pueden conducir a un debilitamiento del diente que favorezca la aparición de fracturas verticales.

Aunque la existencia de este tipo de fracturas no es exclusiva de los dientes tratados endodónticamente, sí que se debe conocer la relación que existe entre este tipo de tratamientos y su presencia.

Podemos definir las fracturas verticales como la fractura completa o incompleta longitudinal de la raíz que se extiende por todo el grosor de la dentina desde el conducto radicular al periodonto. Pueden originarse en la corona, en el ápice o a lo largo de la raíz entre esos dos puntos (108) (109) (110).

El diagnóstico de las fracturas verticales supone un reto para el clínico puesto que no existen signos ni síntomas patognomónicos. Habría que tener en cuenta la presencia de dolor suave, defectos óseos y bolsas localizadas (111). Uno de los datos más significativos de fractura es la presencia de una fístula dual o bolsas profundas y puntuales en lados opuestos de la raíz (112).

Ese tipo de bolsa se produce porque cuando la línea de fractura llega al cemento y al ligamento periodontal, esa área se convierte en una fuente de inflamación crónica (113). De esa manera, el proceso inflamatorio local lleva a que el ligamento se rompa y aparece una bolsa.

Lo único que da certeza de la fractura vertical es su visualización directa o radiográficamente, lo que sucede en contadas ocasiones.

En el estudio desarrollado por Tamse y colaboradores en 2006 concluyen que la presencia radiográfica de variables como radiolucidez ósea en forma de “halo” o bolsa

periodontal, la implicación de la bifurcación en la radiolucidez y la presencia de amalgama tienen una sensibilidad de predicción del 77,6% en el grupo de fracturas verticales (114). Aunque lo cierto es que al ser la radiografía una prueba bidimensional de estructuras tridimensionales, la superposición de los tejidos adyacentes dificultan la visibilidad de las fracturas verticales incompletas.

Por eso serían más eficaces a la hora de su diagnóstico métodos diagnósticos en tres dimensiones, como es la tomografía computarizada. Su mayor problema es la radiación que supone al paciente, además de su alto coste.

También hay que tener en cuenta que en ocasiones la fisura como tal puede no ser vista y si existe un tratamiento endodóntico previo, un perno colado, etc. es posible que la imagen se vea distorsionada.

En los últimos años se ha venido desarrollado sistemas como la tomografía de haz cónico (CBCT de sus siglas en inglés) que ofrecen una menor radiación. Este tipo de sistema diagnóstico utiliza un haz de radiación en forma de cono que permite un escáner de la cabeza del paciente en una rotación de 360°.

Se debe emplear en endodoncia cuando el resto de los medios disponibles no proporcionan una cantidad suficiente de información (115).

En el artículo de Hassan de 2009, habla de que hay una mayor exactitud a la hora de detectar la presencia de fracturas verticales incompletas con CBCT que con radiografías periapicales (112)

Este mismo autor en 2010 dice que los cortes axiales son los más precisos para el diagnóstico de dichas fracturas (116).

La literatura indica que aunque algunos estudios puedan indicar que la CBCT ayuda en el diagnóstico de fracturas y/o fisuras, éstos deben tomarse con cautela. (117), y que entre otras cosas, la determinación de su presencia dependerán del grosor de la misma (118) o de los materiales que existan dentro del conducto (119).

Por eso hay autores como Chadva en 2014 (120) que concluyen que la CBCT tiene grandes limitaciones para el diagnóstico de fracturas radiculares.

Debido a que no existe ninguna prueba específica que nos revele la existencia de este tipo de fracturas, en muchas ocasiones la determinación de éstas es más una “predicción” que un diagnóstico en firme, que se basa en un análisis selectivo de los hallazgos subjetivos y objetivos.

Aparte de la gran dificultad que supone el diagnóstico de una fractura vertical, el otro gran problema que plantean es su pronóstico. Es una gran preocupación clínica puesto que casi de forma inevitable conlleva la extracción del diente o la resección de la raíz afectada (121), aunque algunos autores mencionan la posibilidad de colocar algún tipo de medicación sellante en el interior del conducto con la idea de promover la calcificación del defecto, pero sin indicar cuál (122).

En cuanto a la prevalencia, en el artículo de Tamse de 1999 (5) se indica que es del 2 al 5% según artículos, aunque es posible que ese porcentaje sea mayor a día de hoy (123).

Si se tiene en cuenta la distribución en la población, su presencia es mayor cuanto mayor es la edad del paciente. Chan y colaboradores dicen en 1998 que lo más frecuente es la presencia en pacientes de edades comprendidas entre 40 y 69 años (111). Según Cohen esto puede ser debido a que los pacientes sufren a lo largo de su vida una mayor cantidad de intervenciones dentales, entre ellas las endodónticas y además esos dientes tienen un uso físico más extenso (110).

En ese mismo artículo, Cohen determina que es mayor la prevalencia entre mujeres, lo que contradice a Chan, que dice que la mayor presencia es en hombres, posiblemente por su mayor fuerza masticatoria y su tendencia natural a masticar más intensamente la comida. Los autores no especifican si existen diferencias raciales entre las poblaciones estudiadas.

Por último en cuanto a distribución, se establece que las fracturas verticales son más frecuentes en segundos premolares superiores y en raíces mesiales de molares inferiores (110) (5) (124).

Según Sathorn, El mecanismo de producción de las fracturas sería debido al estrés tensional por masticación que al alcanzar un valor crítico en el diente, se propaga perpendicularmente a la dirección de ese estrés (125) . Sin embargo, se considera que las tensiones circunferenciales son las más peligrosas.

En el estudio de Lertchirakarn y colaboradores de 2003, se demuestra mediante el análisis de elementos finitos, que las tensiones circunferenciales se concentran en las superficies vestibular y lingual de la pared del conducto, lo que se corresponde a la zona de mayor curvatura del mismo (126). Estos datos están en concordancia con los de Santos al decir que la mayor cantidad de estrés se localiza en vestibular y palatino (124).

Esto supone que la curvatura de la pared es un factor de mayor estrés y, por tanto, influye en el patrón de fractura. Con estos resultados se debería explicar por qué las fracturas verticales se producen principalmente con una distribución vestibulo-lingual y así comprender por qué la mayoría de las fracturas de premolares superiores aparecen con esta distribución, a pesar de que ésta es la zona de mayor concentración de dentina.

Estos resultados coinciden con los hallados por Patsandra en 2005, en los que determina que la mayoría de las líneas de fractura se producen de forma vestibulo-lingual. (121).

Una vez conocidos cómo se distribuyen las fracturas verticales y como se producen, es interesante saber cuáles son los factores de riesgo para la aparición de las mismas. Siguiendo el esquema empleado por Tang en 2010 (127), podrían dividirse en factores de riesgo no controlables y controlables.

6.1 Factores de riesgo no controlables. Aquellos producidos por procesos psicológicos o patológicos ajenos al tratamiento dental.

6.2 Factores de riesgo controlables.

6.2.1 Dientes inmaduros con una incompleta formación radicular: en los casos en los que requieren un tratamiento endodóntico, estos dientes se pueden ver debilitados ante una función normal, lo que lleva a una mayor posibilidad de fractura radicular.

- 6.2.2** Cavidad de acceso durante el tratamiento endodóntico: se ha demostrado que la pérdida de integridad dental asociada a la cavidad de acceso puede conducir a la aparición de fracturas verticales (127) .
- 6.2.3** Irrigantes intraconducto: los efectos adversos que producen el hipoclorito de sodio y EDTA en las propiedades físicas de los dientes, como son el módulo elástico, la resistencia a la flexión o la alteración en la microdureza, pueden favorecer la aparición de fracturas completas e incompletas.
- 6.2.4** Material de obturación de los conductos: existen diferentes materiales susceptibles de rellenar el conducto radicular, como es la gutapercha, Resilon (Resilon Research LLC, Madison, CT), MTA, resinas, cemento de vidrio ionómero entre otros, y aunque algunos estudios indican ciertos selladores como mejores que otros en cuanto a la resistencia que aportan al diente (128).
- En conjunto se puede decir que la existencia de un módulo de elasticidad similar a la dentina y la adhesión estable a la pared dentinaria (124) son determinantes en la susceptibilidad del diente a padecer fracturas verticales.
- 6.2.5** Restauración coronal: puede ocurrir que solo se haya tenido que hacer una pequeña cavidad de acceso durante el tratamiento endodóntico, dónde se haya perdido una mínima cantidad de material dentario y en la que las crestas marginales estén intactas. En esos casos, la restauración con una resina compuesta sería suficiente. En el caso de que se necesite una retención adicional, se emplearán los postes.

Para que el poste aporte la menor cantidad de riesgo debería tenerse en cuenta:

- El material del que está compuesto el poste: dentro de los metálicos se utilizarán preferentemente los que sean de metales nobles, no preformados.

Los que aportan características más similares a la dentina en cuanto a módulo de elasticidad son aquellos de fibra de vidrio. Este tipo de pernos no aportan mayor resistencia al diente aunque sí disminuyen la posibilidad de que aparezcan fracturas con un pronóstico fatal. (129) El perno utilizado debe ser el más grueso que permita el conducto para disminuir la posibilidad de fractura (130). De todas maneras, y según autores, la utilización de postes en dientes endodonciados e irrigados con hipoclorito y E.D.T.A. aumentan el riesgo de fracturas, aunque sea necesaria su utilización en dientes muy destruidos. (131)

- La unión entre el poste y el diente: aunque la distribución de la tensión en las paredes de un diente reconstruido con un poste recuerde al límite de estrés de la dentina, la reconstrucción adhesiva de raíces debilitadas no recobra la resistencia de dientes intactos (130). La falta de unión adhesiva entre el poste y el diente puede incluso aumentar el riesgo de fracturas verticales (124)

Por último hay que tener en cuenta la extensión del defecto dentario y el material que se debe emplear en su reconstrucción. Según Tang y colaboradores en su artículo de revisión de 2010, siempre que haya soporte de esmalte suficiente son mejores las reconstrucciones de composite frente a las de amalgama. Además si las cúspides están afectadas, se debe recurrir a su recubrimiento y si el daño es tan grande que se debe recurrir a una corona protésica, siempre hay que tener en cuenta la presencia de un ferrule de 1,5-2,0mm que reduzca el riesgo de fracturas radiculares. (127).

Aunque la disminución de la dureza dentinaria producida por los irrigantes en la extensión que se produce, no puede considerarse como la

primera causa de aparición de fracturas verticales (21) (Saleh 1999, propiedades de la dentina 1), sí que Sayin determina que la microdureza es un indicador de la pérdida o ganancia de minerales e los tejidos duros dentales (10) De esta manera se puede decir que la microdureza es un factor medible de la alteración estructural de la dentina que se produce durante la irrigación en el tratamiento endodóntico.

7. Dureza

La Real Academia de la Lengua Española define la dureza como *“Resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro”*.

En realidad la dureza se trata de la resistencia que ofrece un cuerpo a la deformación local bajo carga, es decir, a la suma de las deformaciones permanente y elástica (132) , de tal manera que la dureza puede medirse como el área total bajo la curva de tensión-distensión (133).

Esto quiere decir que la dureza no es una propiedad que se pueda medir de forma aislada, sino que es el resultado de la suma de muchas propiedades, entre ellas la resistencia a la compresión, el límite elástico, la ductilidad, y la resistencia a la abrasión (134) .

Por tanto una definición más exacta es la oposición que realiza un material a ser penetrado hendido o rayado .

Hay autores que incluso consideran que la dureza es la resistencia de un material a la fractura, y representa la cantidad de energía que se necesita para romperlo (135), o siguiendo a Darvell en 2009 *“se corresponde al estrés que el material puede soportar en equilibrio sin sufrir una deformación, es decir, una especie de límite de deformación plástica”* (136).

Por todo lo dicho la dureza representa la energía necesaria para llevar al material hasta el punto de fractura.

Será la definición de esta propiedad mecánica de los materiales de dónde se deduce cómo será su método de medición: se trata de penetrar o rayar una probeta del material en estudio por medio de un penetrador o “indentador” definido, aplicando sobre éste una carga establecida (137).

Al colocar el material bajo el indentador, se tiene que producir un “desplazamiento” de parte de dicho material. En general, en los materiales sólidos aparece rodeando a la huella dejada por el indentador como un abultamiento hacia arriba y hacia los lados. En los materiales porosos o celulares se produce un colapso de la porosidad o de las células para acomodarse a la situación de presión (136)

Al observar la marca que se produce durante el proceso de medición, podemos decir que una pequeña indentación o de poca profundidad indica un material duro y viceversa. Por supuesto ese indentador debe ser más duro que el material a testar.

El valor de la dureza se obtiene al relacionar la carga aplicada con la magnitud de la penetración o raya y cuanto mayor sea el valor numérico obtenido, mayor será la dureza.

No existe un método único de medición de dureza y tampoco son equivalentes los valores obtenidos mediante los diferentes test, puesto que existen diferencias geométricas entre ellos y además cada test tiene en cuenta diferentes propiedades básicas del material. Por tanto, aunque existen tablas de “conversión” entre ellos, se deben tomar con precaución (136).

- Dureza Brinell

Para su estudio, se hace penetrar en el material bajo una carga determinada P , una bola de acero muy resistente de diámetro D , para medir el diámetro de la marca obtenida al cesar la carga.

Se relacionará la carga aplicada con la superficie de la huella que tiene una proyección circular, cuyo diámetro se mide con un microscopio. El cociente obtenido se llama *Número de Dureza de Brinell* (NDB), y se halla relacionado con el límite proporcional y con la resistencia máxima a la tracción de las aleaciones de oro, con su utilidad en el campo odontológico (133)(Imagen 1).

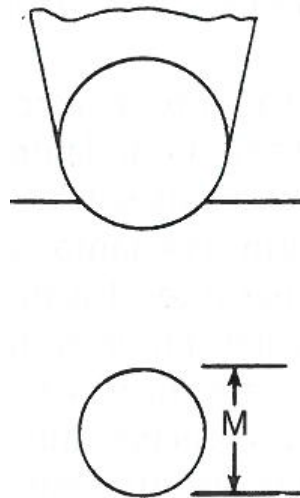


Imagen 1: Medición dureza Brinell. (133)

Los inconvenientes que presenta éste test son dos: en primer lugar no sirve para materiales frágiles, ya que para producir la huella hay que superar bastante el límite proporcional, y en segundo lugar es que no tiene en cuenta la recuperación que se produce en el material al retirar la esfera.

Además tiene parámetros de presión, por tanto, se han buscado penetradores más duros que las bolas de acero, como los empleados en los test Rockwell, Knoop y Vickers.

- Dureza Rockwell:

El indentador puede ser o una bola de acero o un cono de diamante con ángulo en el vértice de 120° y terminado en una superficie redondeada de 0,2 mm de radio. En vez de medir el diámetro de la impresión se calcula directamente la profundidad de penetración empleando una esfera calibrada sobre el instrumento. Ofrece menos garantías de exactitud pero es más fácil desarrollarlo (137) (Imagen 2).

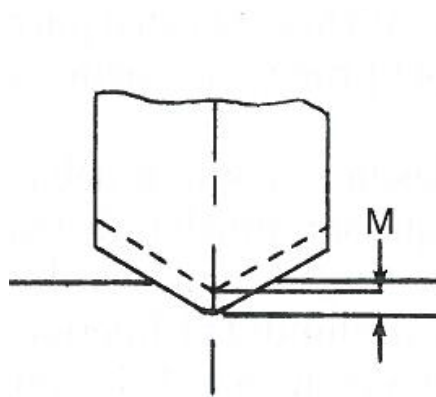


Imagen 2: Medición Dureza Rockwell. (133)

En el ensayo Rockwell actúan dos cargas: una pequeña inicial o precarga y una segunda mucho mayor o carga.

En general, la dureza Rockwell se ha utilizado con grandes cargas de ensayo que pueden ser, dependiendo del tamaño del espécimen a medir, desde los 100 o 150 kg de carga en los de gran tamaño a las 15-45 kg en los de pequeño, éstas últimas son las empleadas en odontología (138).

- Dureza Knoop:

El penetrador es una pirámide de diamante de base romboidal muy alargada, con un ángulo de 16° , y con un ángulo entre aristas de 130° y $172^\circ 30'$, elegidos para obtener una huella en forma de rombo, cuya diagonal mayor es 7 veces el tamaño de la menor.

Durante el test, los lados de la indentación tienden a no verse correctamente como resultado de la elasticidad del material, la diagonal mayor normalmente resulta muy visible y es su longitud lo que se usa para calcular el área de indentación. Esta longitud es 30 veces la profundidad y 7 veces el ancho de dicha marca (136) (Imagen 3).

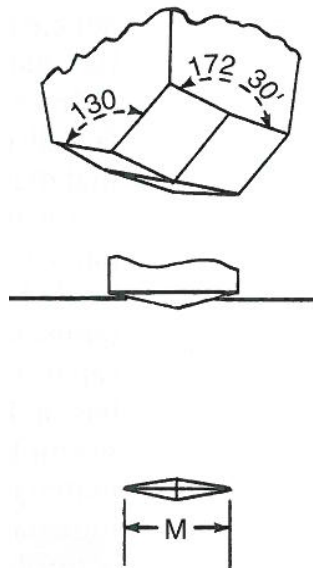


Imagen 3: Medición dureza Knoop. (133)

Es el método de elección para cuerpos particularmente frágiles.

La prueba de dureza Knoop da como resultado el *Número de Dureza de Knoop* (NDK), que en la dentina es de 65 y en el esmalte de 300.

- Dureza Vickers:

El ensayo de dureza Vickers fue desarrollado en 1925 en Inglaterra y fue determinado como DPH (Diamond Pyramid Hardness) (139)

Esto es así porque el indentador con el que se realiza la prueba está constituido por una pirámide de diamante con base cuadrangular cuyas caras opuestas forman, entre ellas, un ángulo de 136° , lo que permite que el penetrador sea corto, dando impresiones poco profundas.

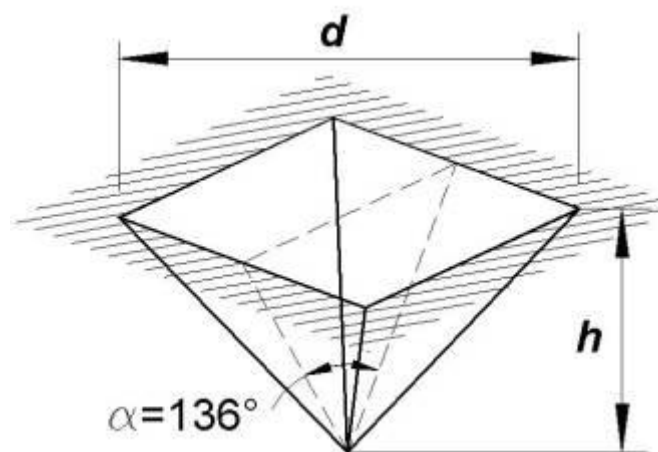


Imagen 4: Indentador Vickers. (140)

La huella obtenida se observa a través de un microscopio metalográfico, donde se utilizan pruebas de reflexión y no de transmisión como en el microscopio clásico (132) (Imágenes 5 y 6).

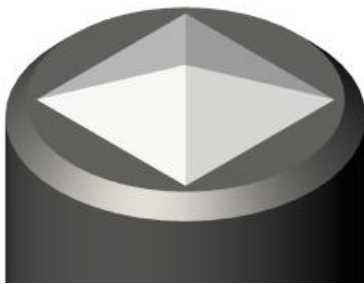


Imagen 5: Esquema imagen indentador Vickers. (140)

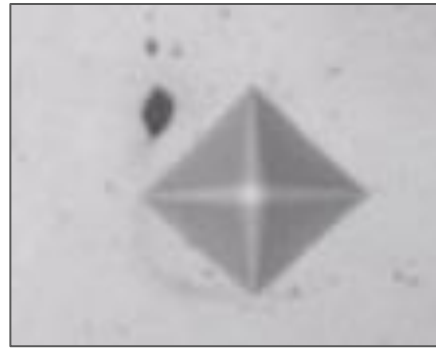


Imagen 6: Imagen Vickers. (141)

Para hallar el *Número de Dureza Vickers* (NDV) se hará de una manera similar que para el NDB dividiendo la carga entre el área de indentación proyectada. Se hará siguiendo la fórmula:

$$H = \frac{2F}{d^2} \cdot \text{sen} \left(\frac{136^\circ}{2} \right) = \frac{1,854P}{d^2}$$

Dónde ***H*** es la dureza, ***F*** la fuerza, ***P*** la presión ejercida expresada en decaNewton (daN) y ***d*** la longitud de la diagonal en milímetros o ***P*** en miliNewton (mN) y ***d*** en micrómetros (μm).

Existen tablas para obtener la dureza Vickers de forma sencilla, pero los durómetros digitales obtienen el valor por ellos mismos.

Al utilizar este método de medición de dureza los espesores de los materiales pueden ser mucho más pequeños que los del ensayo Brinell, permite realizar mediciones en áreas muy reducidas y es válido para materiales duros o blandos (142). Además se puede utilizar en superficies cilíndricas o esféricas, mediante el empleo de tablas con factores de corrección (143).

Como principal desventaja se puede señalar que al ser una medición óptica de la superficie de la huella, es necesaria que esa superficie tenga un acabado lo suficientemente fino como para poder obtener un resultado con exactitud.

- Microdureza:

El término microdureza se refiere a los ensayos de dureza realizados con cargas hasta de un kilogramo (138). Para este tipo de ensayos se emplean las pruebas Knoop y Vickers. Deben observarse mediante microscopio metalográfico y se emplean para piezas muy delgadas o frágiles.

De hecho, la definición de microdureza es la misma que para la dureza Vickers normal:

$$H = \frac{1,854P}{d^2}$$

con la P expresada en mN y la d en milímetros.

—●HIPÓTESIS DE TRABAJO

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Como ya se ha expuesto, una de los grandes problemas desde el punto de vista endodóntico y de la odontología en general es la presencia de las fracturas verticales.

Su dificultad para el diagnóstico, su casi imposible tratamiento conservador y la creciente tendencia a aparecer en dientes con o sin tratamiento endodóntico hace deseable el encontrar una manera efectiva de atajar su presencia o, cuando menos, disminuir al máximo los factores controlables para su aparición.

Aún a sabiendas de que existen factores que pueden llevar a un debilitamiento de la dentina frente a las fracturas, es difícil prescindir de ellos, como es el caso de los irrigantes endodónticos, determinantes a la hora de obtener un éxito en el tratamiento de conductos radiculares.

Químicamente, el irrigante más eficaz se obtiene mediante la combinación del hipoclorito de sodio con el ácido etilendiaminotetraacético.

Por esto es interesante el saber si estos productos y/o procedimientos habituales en la práctica dentaria pueden afectar directamente a la resistencia a la fractura en los dientes.

La medición de la dureza de la dentina antes y después del empleo de agentes químicos con o sin activación de los mismos, puede dar una idea de cómo éstos han influido en la resistencia a la fractura, puesto que la dureza representa la energía necesaria para llevar a un material hasta el punto de fractura.

Al hacer la medición de la dureza dentinaria, hay que tener en cuenta la posibilidad de que en función del tercio radicular que se esté observando, puesto que la estructura de la dentina no es la misma a lo largo de toda la raíz.

Es por esto que es importante diferenciar entre los diferentes tercios radiculares a la hora de estimar su resistencia a la fractura.

Por todo lo expuesto, la hipótesis nula que se contrastará es que:

- No existen diferencias de dureza en la dentina radicular tras utilizar diferentes irrigantes endodónticos, con o sin activación de los mismos.
- No existen diferencias de dureza entre los diferentes tercios radiculares, independientemente de que éstos se hayan sometido o no a la acción de los irrigantes endodónticos, con o sin activación de los mismos.

—●OBJETIVOS

OBJETIVOS

1. Observar si existen diferencias, en cuanto a dureza dentinaria se refiere, de los diferentes tercios radiculares del diente previas al tratamiento con cualquier irrigante.
2. Determinar si existe afectación de la dureza de la dentina radicular con el uso de los siguientes irrigantes:
 - Hipoclorito de Sodio al 5%
 - Hipoclorito de sodio al 5% combinado con ácido etilendiaminotetraacético al 17%.
 - Hipoclorito de sodio al 5% activado con técnica irrigación ultrasónica pasiva
3. Comprobar si con estos mismos irrigantes se produce afectación de la dureza dentinaria en función del tercio radicular en que se apliquen.
4. En caso de que exista afectación de la dureza de la dentina, determinar cuál de los irrigantes utilizados en este estudio es que el que mayor afectación produce en cada uno de los tercios radiculares.

————● MATERIAL Y MÉTODO

MATERIAL Y MÉTODO

MATERIAL

Los materiales utilizados durante la realización de este estudio han sido:

- Ochenta y un dientes humanos extraídos
- Hipoclorito de Sodio al 5% Panreac® (Barcelona España)
- Q Solution EDTA DENTAFLUX (J.Ripol S.L. Madrid España)
- Punta ultrasónica IrriSafe Acteon Satelec (VDW, Alemania)
- Cortadora mecánica
- EXAKT cutting unit 400C (Exakt Alemania)
- 60 Cilindros de PVC de 2centímetros de alto por 3,2 centímetros de diámetro
- Resina autopolimerizable Dentsply Special Tray (DENTSPLY Limited, Reino Unido)
- Dos losetas de vidrio
- Vaselina perfumada neutra Gal® (España)
- Discos de pulido de carburo de silicio resistentes al agua de 800µm y 1200µm de grosor (Struers Ballerup-Dinamarca)
- Pulidora Struers DAP-7 (Struers, Ballerup-Dinamarca)
- Microdurómetro Digital Vickers Time THV-501E (Time Technology Europe, Maastricht, Países Bajos)

MÉTODO

El trabajo de investigación se ha realizado en el Departamento de Odontología Conservadora de la Facultad de Odontología y el Departamento de Petrofísica de la Facultad de Geología de la Universidad Complutense de Madrid.

1. Selección de dientes

Para este trabajo se emplearon 81 dientes extraídos, incluyendo incisivos, caninos, premolares y molares, tantos superiores como inferiores. No se tiene en cuenta el sexo o edad de los pacientes sometidos a las exodoncias. Una vez extraídos se conservaron sumergidos en suero fisiológico, a temperatura ambiente no más de 6 meses.

Se realizó un examen visual y radiográfico de los dientes extraídos y se aplicaron los siguientes criterios de exclusión:

1. Inspección visual: Se descartan aquellos dientes que presentan fracturas, fisuras, cracks, caries radicales, ápices inmaduros u obturaciones radicales (Imagen 7).
2. Examen radiográfico: Se descartan los dientes que presentan tratamientos endodónticos previos u obturaciones radicales.



Imagen 7: Selección de los dientes siguiendo criterios de exclusión.

2. Preparación de la muestra

Para la preparación de las muestras, se realizan secciones de 3mm de grosor con las superficies de corte paralelas, utilizando la cortadora Exakt (EXAKT cutting unit 400C, Alemania) (Imagen 8). El hecho de tener paredes paralelas es un requisito imprescindible para la medición con el microdurómetro Vickers.



Imagen 8: cortadora Exakt (EXAKT cutting unit 400C, Alemania).

Al preparar las muestras con la cortadora Exakt siempre hay que tener en cuenta que su hoja de corte tiene un grosor de 0.4mm, con lo que los cortes que se realizan en las raíces objeto de estudio no pueden tener una distancia de 3mm entre sí, ya que si no se conseguirían muestras de 2,6mm de grosor debido a la pérdida de material que se produce por el ancho de la hoja de corte. Habrá que realizar una corrección para no desvirtuar el tamaño de la muestra y hacer los cortes a 3,4mm entre ellos.

El primero de los cortes se realiza cortando con la hoja de precisión Exakt la mínima porción permitida por la máquina del ápice radicular para conseguir una superficie plana (Imagen 9). A partir de esta superficie inicial obtendremos otros cortes paralelos.

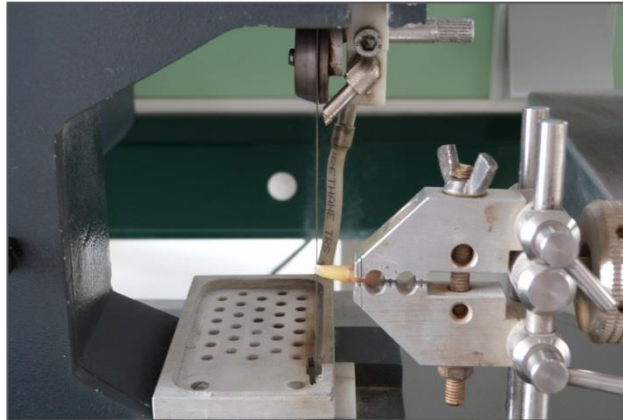


Imagen 9: corte lo más próximo al ápice dental.

De esta manera, se prepararon un total de 272 secciones radiculares (Imagen 10). Se clasificaron en función del tercio radicular al que pertenecían: apical, medio y coronal.



Imagen 10: secciones radiculares.

Se considera sección apical a la que se corresponde con los tres últimos milímetros de la raíz del diente.

Se considera porción coronal los tres milímetros más coroneles de la raíz.

La sección media se considera a una sección de tres milímetros con paredes paralelas obtenida de un punto aleatorio entre la sección apical y la coronal.

Para conseguir las secciones apicales se realiza con la cortadora Exakt un corte paralelo a tres milímetros de distancia en dirección coronal del primer corte realizado que determinaba una superficie plana apical.

La sección media se obtiene realizando un primer corte en un punto, lo más centrado posible, entre la sección apical y la sección coronal, para después realizar un segundo de tal manera que se consiga una muestra de tres milímetros de grosor que igualmente tenga las dos superficies planas y paralelas, asegurándose que ninguno de los cortes realizados invade las secciones correspondientes al tercio apical y/o coronal.

Para preparar la sección coronal, se determina de forma ocular el límite amelocentario, se marca y se hace un primer corte en ese punto, desechando la corona. Se realiza un segundo corte a la distancia correcta para obtener una muestra de 3mm, que al igual que las anteriores ofrezcan superficies planas y paralelas.

De esta manera, se obtienen se obtuvieron un total de:

81 muestras de tercio coroneles

93 muestras de tercio medio

98 muestras de tercio apical

El número de dientes elegidos y el número de muestras obtenidos por tercio no es el mismo ya que al no discriminar entre los diferentes grupos dentarios, dentro del montante de dientes empleados se encuentran tanto incisivos y caninos como premolares y molares. Por esto, el número de raíces entre los diferentes dientes variará, pudiendo obtener varias muestras del mismo tercio dentro de un mismo diente, a excepción del tercio coronal, puesto que las furcaciones radiculares se encuentran por debajo del límite amelocementario que sirve de referencia coronal a este tercio.

De manera aleatoria, se seleccionan 80 muestras para cada uno de los grupos determinado por el tercio radicular, de tal manera que se obtendrían:

Coronal: 80 muestras

Medio: 80 muestras

Apical: 80 muestras

A su vez, y de nuevo de manera aleatoria se dividen en cuatro subgrupos de 20 muestras cada uno que estarán determinados por el tratamiento al que se le someten (Tabla 1).

GRUPO	TRATAMIENTO	TERCIO			TOTAL
		CORONAL	MEDIO	APICAL	
1	CONTROL	20	20	20	60
2	NaOCl 5%	20	20	20	60
3	NaOCl 5%+EDTA 17%	20	20	20	60
4	NaOCl 5%+ IrriSafe	20	20	20	60

Tabla 1: Distribución de las muestras en los diferentes grupos

En el Grupo 1 Control las muestras se mantienen sumergidas en suero fisiológico.

En el Grupo 2 NaOCl las muestras son sumergidas en 10ml de Hipoclorito de Sodio al 5% PANREAC (Barcelona, España) durante una hora.

En el Grupo 3 NaOCl+EDTA, las muestras son sumergidas en 10ml de Hipoclorito de Sodio al 5% PANREAC (Barcelona, España) durante una hora y seguidamente en 10ml de Q solution EDTA DENTAFLUX (Madrid, España) durante una hora (Imagen 11).

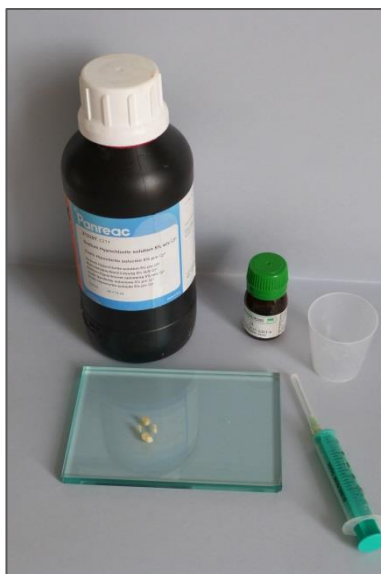


Imagen 11: Soluciones empleadas para sumergir muestras.

En el Grupo 4 NaOCl+IrriSafe(IrriSafe Acteon Satelec (VDW, Alemania) se sumergen en 10ml de Hipoclorito de Sodio PANREAC (Barcelona, España) y se someten a 20 segundos de activación ultrasónica con la punta IrriSafe (IrriSafe Acteon Satelec (VDW, Alemania)). Se emplea la potencia 5 del equipo de ultrasonidos P% Booster Suprasson Satelec sobre el hipoclorito, sin tocar las muestras ni las paredes del recipiente en el que se han sumergido. Se repite tres veces, cambiando los 10ml de NaOCl entre ciclos (Imágenes 12 y 13).



Imagen 12: Ultrasonidos P5 booster y punta IrriSafe



Imagen 13: Muestras activadas mediante IUP

Posteriormente se dejan las muestras sumergidas en los 10ml de hipoclorito de sodio empleados en la última activación hasta completar una hora.

Todas las muestras, tras ser sumergidas en los diferentes productos, con o sin activación ultrasónica, son sumergidas en suero fisiológico durante 15segundos y retirado el exceso de humedad con papel.

3. Montaje de las muestras

Una vez preparadas las muestras, y habiendo retirado ligeramente la humedad, aunque sin secar totalmente, se procede a su montaje en un cilindro de PVC que hará las veces de soporte.

Sobre una loseta de vidrio, impregnada de vaselina como separador se colocan las muestras en número de cuatro, todas pertenecientes al mismo tercio radicular y sometidas al mismo tratamiento, con su parte más coronal apoyada sobre la loseta (Imagen 14).



Imagen 14: Muestras sobre loseta y resina autopolimerizable

Encima de la loseta y englobando a las cuatro muestras se coloca el cilindro de PVC DE 3,2cm de diámetro y 2cm de altura, de tal manera que las paredes del mismo no toquen las muestras (Imagen 15).



Imagen 15: Muestras sobre loseta con cilindro PVC.

Se prepara la resina autopolimerizable Dentsply Special Tray Dentsply (DENTSPLY Limited, Reino Unido) siguiendo las instrucciones del fabricante.

Se vierte la resina en el cilindro de PVC cubriendo las muestras hasta el borde superior del cilindro sin rebasarlo.

Una vez lleno, se coloca una segunda loseta igualmente impregnada del mismo separador sobre el cilindro (Imagen 16).

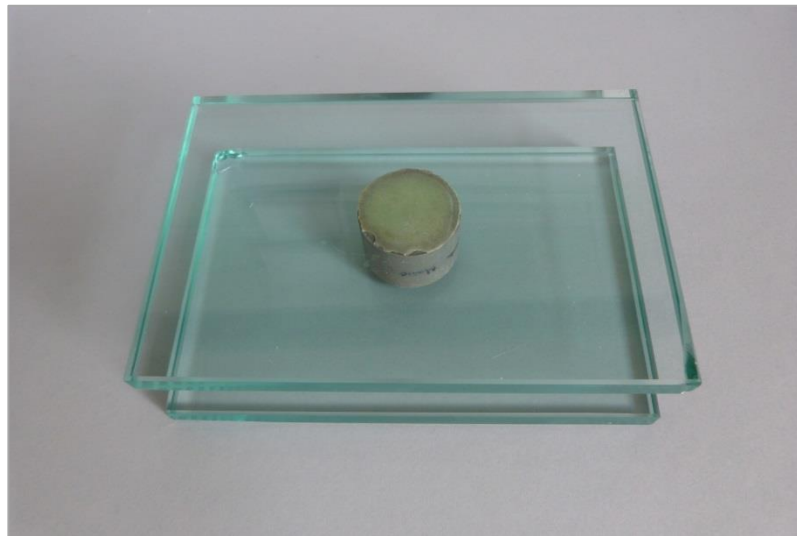


Imagen 16: Cilindro de PVC con resina entre losetas de vidrio.

Se le somete a presión con una presa de banco de tal manera que las dos losetas permanecen paralelas entre ellas, forzando a que las dos superficies de la resina en el interior del cilindro de PVC, sean también paralelas entre sí (Imagen 17).

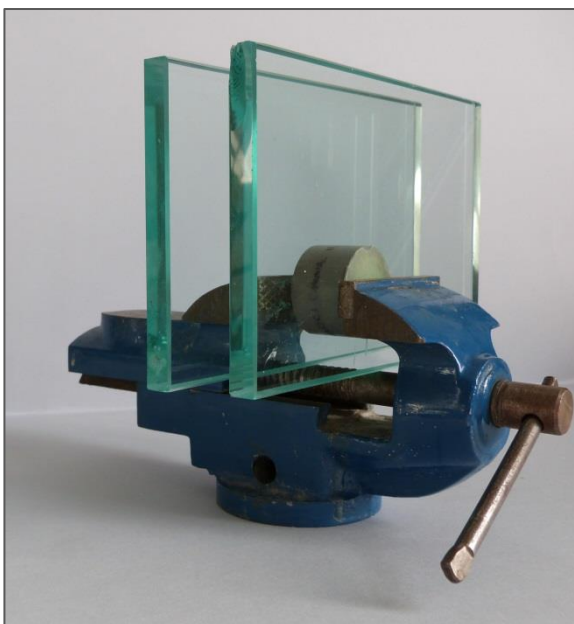


Imagen 17: Presa de banco.

Se mantiene bajo presión durante una primera fase de polimerización, lo suficiente como para que sea posible retirar los sobrantes que rebosan por el contorno del cilindro.

Se comprueba que las muestras no han sufrido ninguna alteración en su posición dentro del cilindro y se coloca de nuevo en la misma posición en la presa de banco hasta que termina la fase exotérmica de polimerización de la resina. En la imagen 18 se aprecia cómo quedan montadas las muestras en su soporte.



Imagen 18: Muestras montadas en su soporte.

4. Pulido de las muestras

Una vez montadas las muestras en su soporte, se pulen.

Para ello se emplea una pulidora Struers DAP-7 a una velocidad de 250rpm bajo irrigación continua de agua (Imagen 19).



Imagen 19: Pulidora Struers DAP-7.

Se hace un primer pulido de cada cilindro con resina por la parte plana donde se encuentran las muestras con un disco de 800 μm de carburo de silicio durante 20 segundos. Cada cinco segundos el cilindro de soporte se cambia de posición para asegurar un pulido uniforme (Imagen 20).

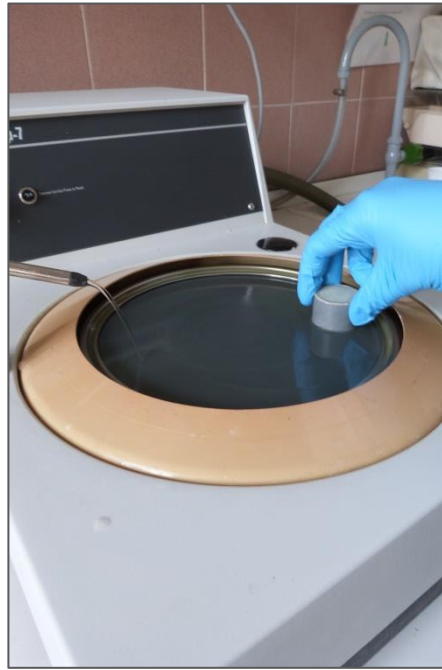


Imagen 20: Pulido de muestras.

En una segunda fase, con la misma velocidad y también con irrigación continua de agua, se realiza un pulido igual al anterior pero con un disco de carburo de silicio de 1200 μm .

Una vez pulidas las muestras, todos los soportes se mantienen sumergidos en suero fisiológico hasta el momento de su medición.

5. Medición de las muestras

Todas las muestras se someten a test de dureza empleando un Microdurómetro Digital Vickers Time THV-501E (Time Technology Europe, Maastricht, Países Bajos) (Imagen 21).



Imagen 21: Microdurómetro Vickers

Se coloca el soporte en la presa del microdurómetro. Se enfoca la muestra y una vez descartado que no nos encontramos en el conducto radicular ni en cemento, se hace una marca con el indentador con una carga de 4.9N y durante un tiempo de 20 segundos. La propia máquina mide la dureza, dándonos el número de dureza Vickers.

Cada una de las muestras se mide en tres puntos aleatorios diferentes, siempre en dentina. Cada una de esas mediciones se repite dos veces y se toma como valor de ese punto la media de las dos (Imágenes 22, 23, 24, 25). El valor final asignado a esa muestra se calcula haciendo la media entre los tres puntos.

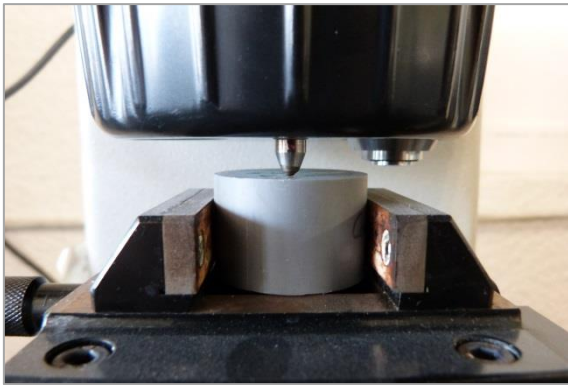


Imagen 22: Medición 3 puntos aleatorios.

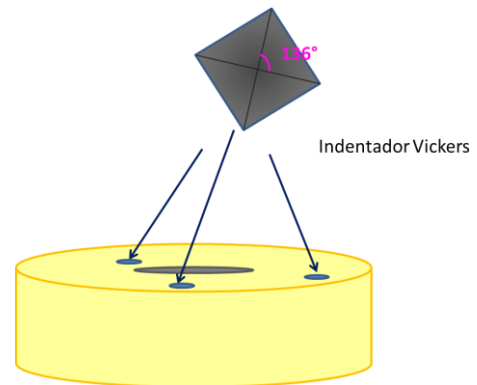


Imagen 23: Esquema de medición de microdurómetro



Imagen 24: Imagen obtenida con microdurómetro

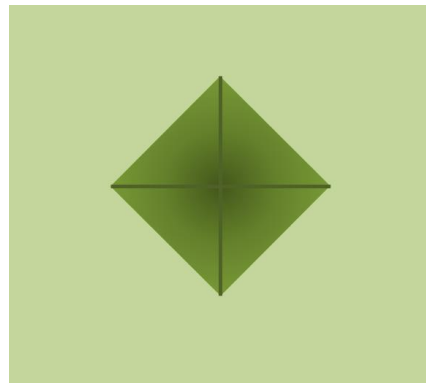


Imagen 25: Esquema de huella Vickers en muestra

Se rechazaron todas aquellas muestras en las que una o las dos diagonales dibujadas por el indentador no puedan ser observadas con claridad, por lo que la medición de la huella creada no pueda ser precisa.

6. Análisis estadístico

El estudio estadístico de los datos obtenidos en este estudio se llevó a cabo en el servicio Centro de Apoyo a la Investigación (CAI) de Estadística de la Universidad Complutense de Madrid, mediante el programa estadístico SPSS 20.0 (IBM, Nueva York, Estados Unidos).

Se realizó una estadística descriptiva en la que se hallan valores medios, la desviación estándar, máximos y mínimos.

Para la estadística inferencial se utilizó el test de análisis de varianza (ANOVA).

Se realiza un test ANOVA bifactorial en el que se agrupan todas las muestras, aislando la variable correspondiente al tercio del diente empleado (PORCIÓN) e irrigante con o sin activación (TRATAMIENTO).

Para los casos de análisis unifactorial, se comparan de forma separada cada una de las porciones con cada uno de los tratamientos. En los casos en los que el test estadístico de Levene, como prueba de homogeneidad de varianzas no rechaza la homogeneidad de las mismas, se emplea el test de Ryan-Einot-Gabriel-Weisch como test post hoc para determinar dónde se encuentran las diferencias entre grupos.

Cuando el test estadístico de Levene rechazó la homogeneidad de varianzas se emplearan las Pruebas Robustas de Igualdad de Medias mediante el test de Brown-Forsythe, con test post hoc de comparaciones múltiples de Tamhane.

Todas las pruebas se realizan estableciendo el límite de significación estadística en un valor de $p < 0,05$.

————● **RESULTADOS**

RESULTADOS

1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Antes de pasar a exponer la estadística analítica, se presenta en forma de tablas y diagramas la descriptiva para la población estudiada, expresada en unidades de dureza Vickers, teniendo como variable en primer lugar el irrigante con o sin activación (TRATAMIENTO) y posteriormente el tercio al que pertenece la muestra a analizar (TERCIO RADICULAR).

1.1. TRATAMIENTO

1. Control

TERCIO RADICULAR	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Coronal	19	53,889	6,4223	38,7	69,8
Medio	20	51,973	6,6858	39,5	62,2
Apical	19	45,862	6,8125	35,0	55,1
Total	58	50,599	7,3709	35,0	69,8

Tabla 2: Dureza, con respecto al tercio radicular, del grupo control

2. Hipoclorito de Sodio (NaOCl)

TERCIO RADICULAR	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Coronal	20	43,622	9,9408	29,8	63,9
Medio	20	45,279	7,3621	34,6	62,5
Apical	19	41,604	6,5278	30,9	53,1
Total	59	43,534	8,1009	29,8	63,9

Tabla 3: Dureza, con respecto al tercio radicular, del grupo hipoclorito de sodio

3. Hipoclorito de Sodio y Ácido Etilendiaminotetraacético (NaOCl+EDTA)

TERCIO RADICULAR	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Coronal	20	44,723	8,5444	28,6	56,2
Medio	20	44,490	7,8219	31,1	54,9
Apical	20	44,803	6,3176	33,8	55,5
Total	60	44,672	7,4890	28,6	56,2

Tabla 4: Dureza, con respecto al tercio radicular, del grupo hipoclorito de sodio y ácido etilendiaminotetraacético

4. Hipoclorito de Sodio y activación con técnicas de irrigación ultrasónica pasiva o IUP.

TERCIO RADICULAR	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Coronal	18	40,826	11,6020	23,5	57,7
Medio	20	48,533	9,2670	29,2	65,4
Apical	19	43,244	8,3801	30,9	58,4
Total	57	44,336	10,1600	23,5	65,4

Tabla 5: Dureza, con respecto al tercio radicular, del grupo hipoclorito de sodio y activación con técnicas IUP

Diagrama de barras, expresado en unidades de dureza Vickers de la relación tratamiento- porción.

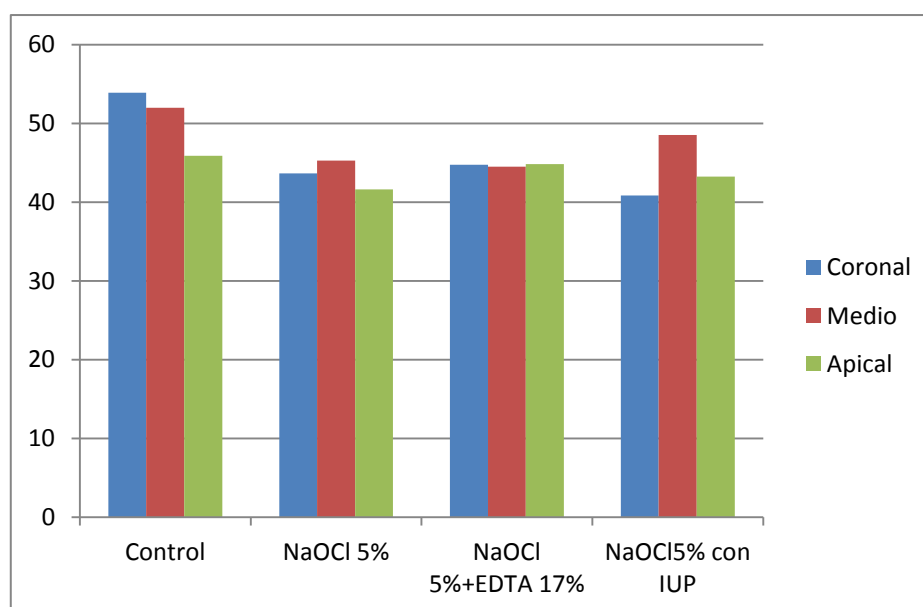


Diagrama 1: relación Tratamiento- Tercio Radicular

1.2 . TERCIO RADICULAR

1. Coronal

TRATAMIENTO	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Control	19	53,889	6,4223	38,7	69,8
NaOCl	20	43,622	9,9408	29,8	63,9
NaOCl+EDTA	20	44,723	8,5444	28,6	56,2
NaOCl con IUP	18	40,826	11,6020	23,5	57,7
Total	77	45,788	10,3249	23,5	69,8

Tabla 6: Dureza, con respecto al tratamiento, del tercio coronal

2. Medio

TRATAMIENTO	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Control	20	51,973	6,6858	39,5	62,2
NaOCl	20	45,279	7,3621	34,6	62,5
NaOCl+EDTA	20	44,490	7,8219	31,1	54,9
NaOCl con IUP	20	48,533	9,2670	29,2	65,4
Total	80	47,569	8,2479	29,2	65,4

Tabla 7: Dureza, con respecto al tratamiento, del tercio medio

3. Apical

TRATAMIENTO	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Control	19	45,862	6,8125	35,0	55,1
NaOCl	19	41,604	6,5278	30,9	53,1
NaOCl+EDTA	20	44,803	6,3176	33,8	55,5
NaOCl con IUP	19	43,244	8,3801	30,9	58,4
Total	77	43,890	7,0921	30,9	58,4

Tabla 7: Dureza, con respecto al tratamiento, del tercio apical

Diagrama de barras, expresado en unidades de dureza Vickers de la relación porción-tratamiento.

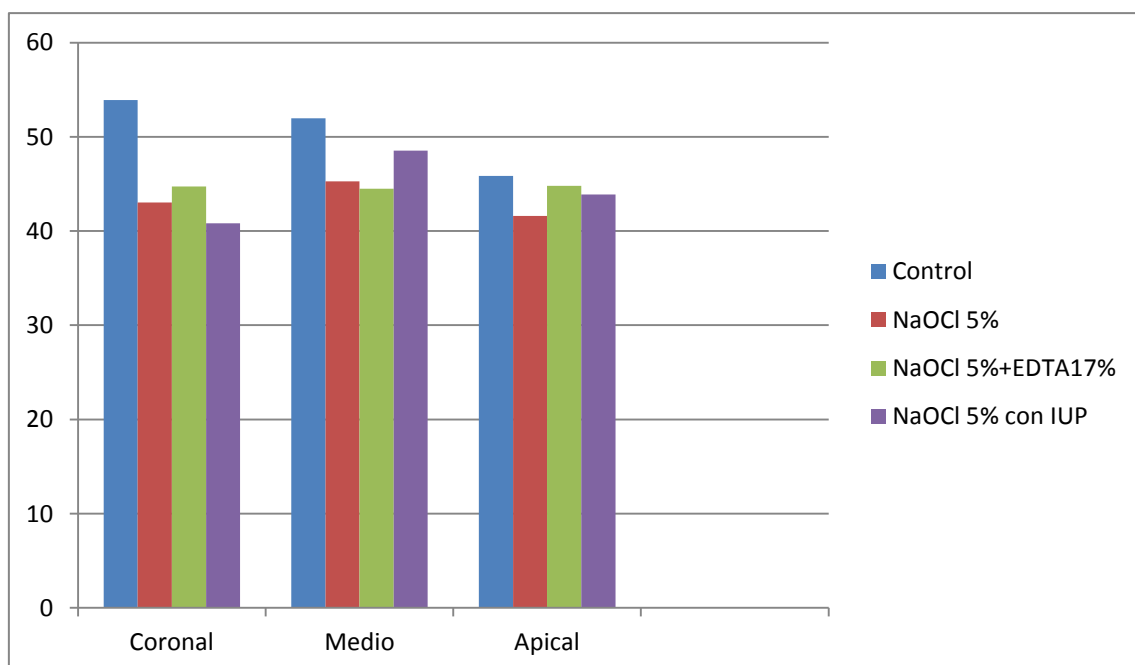


Diagrama 2: Tercio Radicular-Tratamiento

2. GRÁFICA DUREZA EN RELACIÓN TRATAMIENTO Y PORCIÓN

En la siguiente gráfica se representa la distribución de las muestras en cuanto a dureza de las mismas se refiere atendiendo al irrigante con o sin activación empleado (tratamiento) y al tercio radicular al que pertenece la muestra (porción).

En el eje de ordenadas se observa la dureza determinada para cada muestra y en el de abscisas el tratamiento empleado.

El color de las cajas hace referencia al tercio radicular o porción al que pertenece la muestra.

Conviene destacar la presencia de dos *outliers* (atípicos) en el grupo control coronal, que pueden hacer incrementar la varianza y el hecho de que en el grupo control tercio medio y en grupo NaOCl + EDTA en tercio medio la mediana se encuentra mediada hacia arriba.

Esto puede hablar de falta de normalidad en la muestra, aunque queda por confirmar en los resultados obtenidos con el test Shapiro-Wilk.

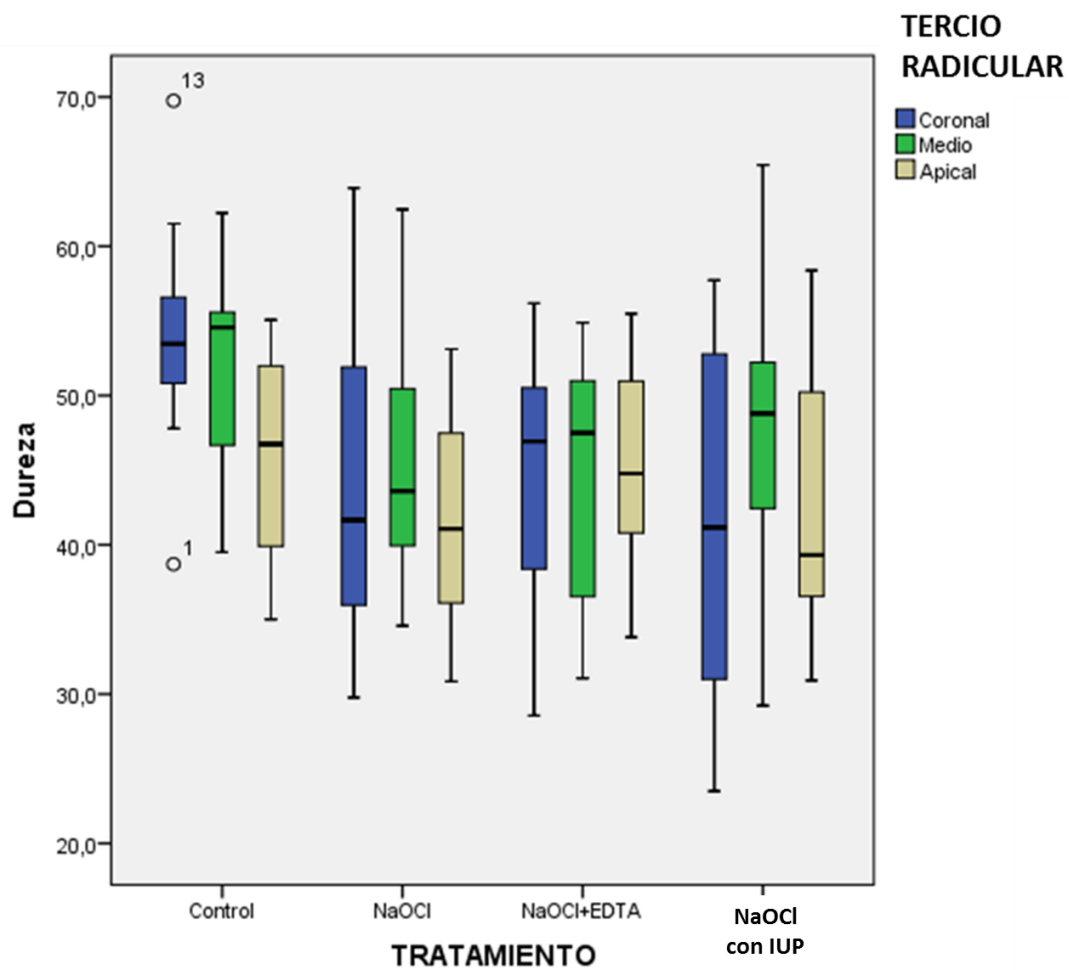


Diagrama 3: Diagrama de cajas dureza-tratamiento

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk

GRUPO: CONTROL	Shapiro-Wilk
Tercio Radicular	Significación
Coronal	,413
Medio	,062
Apical	,141

Tabla 8: Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk grupo control

La significación de grupo control porción media se acerca mucho al $p < 0,05$, es por eso por lo que la gráfica Box Plot se puede ver reflejado como un valor de la mediana escoreado, aunque todos las porciones se ajustan a los criterios de normalidad con una significación del 95%.

GRUPO: NaOCl	Shapiro-Wilk
Tercio Radicular	Significación
Coronal	,405
Medio	,258
Apical	,449

Tabla 9: Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk grupo hipoclorito de sodio

La significación del grupo NaOCl en cada una de las porciones se encuentra en un $p < 0.05$, por tanto se ajusta a normalidad con una significación del 95%.

GRUPO: NaOCl+EDTA	Shapiro-Wilk
Tercio Radicular	Significación
Coronal	,210
Medio	,058
Apical	,503

Tabla 10: Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk grupo hipoclorito de sodio más ácido etilendiaminotetraacético

La significación del grupo NaOCl+EDTA en la porción media se acerca a $p < 0,5$ por tanto se puede ver un valor escoreado en la gráfica Box Plot, pero todas las porciones se ajustan a los criterios de normalidad con una significación del 95%.

GRUPO: NaOCl con IUP	Shapiro-Wilk
Tercio Radicular	Significación
Coronal	,223
Medio	,799
Apical	,121

Tabla 10: Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk grupo hipoclorito de sodio con activación mediante técnicas de irrigación ultrasónica pasiva.

Todas las porciones del grupo NaOCl con IUP se ajustan a los criterios de normalidad con una significación de un 95%.

3. ESTADÍSTICA ANALÍTICA

3.1. ANÁLISIS DE LA VARIANZA UNIFACTORIAL POR TRATAMIENTO

a) Control

Al no rechazar el test de homogeneidad de varianzas de Levene, se puede realizar un análisis de la varianza unifactorial (ANOVA).

Estadístico de Levene	Significación
,674	,514

Tabla 11: Estadístico de Levene grupo Control

El test ANOVA, con una $p < 0.05$ (significación= 0,001) indica que existen diferencias entre los tercios, por lo que se realizan las pruebas *post hoc* de Subconjuntos Homogéneos o test de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch, en las que se determinan que existen diferencias estadísticamente significativas entre el tercio apical y el tercio medio y coronal, siendo menor la dureza en apical.

PORCION		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
Ryan-Einot-Gabriel-Welsch	Apical	19	45,862	
	Medio	20		51,973
	Coronal	19		53,889
	Sig.		1,000	,372

Tabla 12: Test Ryan-Einot-Gabriel Welsch grupo control

b) Hipoclorito de Sodio (NaOCl)

La prueba de Levene no rechaza homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	Significación
1,979	,148

Tabla 13: Estadístico de Levene grupo hipoclorito de sodio

Al realizar el test de ANOVA, con una significación de 0.373, se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tercios coronal, medio y apical.

c) Hipoclorito de Sodio más Ácido Etilendiaminotetraacético (NaOCl+EDTA)

El test de Levene no rechaza homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	Significación
1,253	,293

Tabla 14: Estadístico de Levene grupo Hipoclorito de Sodio más Ácido Etilendiaminotetraacético.

Al realizar el test de ANOVA, con una $p=0.991$ ($p>0.05$), se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres tercios, coronal, medio y apical.

d) Hipoclorito de Sodio y activación con técnicas de irrigación ultrasónica pasiva o IUP

El test de Levene, no rechaza homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	Significación
1,685	,195

Tabla 15: Estadístico de Levene grupo Hipoclorito de Sodio con IUP

En el test de ANOVA con un $p=0.53$ ($p>0.05$) se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres tercios, coronal, medio y apical.

3.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA UNIFACTORIAL POR TERCIO RADICULAR

a) Coronal

El test de Levene rechaza la homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	Significación
3,624	,017

Tabla 16: Estadístico de Levene tercio coronal

Por eso se realizan Pruebas Sólidas de Igualdad de Medias con el test de Brown-Forsythe.

Estadístico de Brown-Forsythe	Significación
6,910	,000

Tabla 17: Estadístico de Brown-Forsythe tercio coronal

Una vez rechazada la igualdad de medias, se recorre a pruebas *post hoc* de comparaciones múltiples de Tamhane.

Señalados en rojo quedan todos los $p < 0.05$, lo que indican las diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos.

Variable dependiente: Dureza

	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Tamhane	Control	NaOCl	10,2661*	2,6668	,003
		NaOCl+EDTA	9,1653*	2,4127	,003
		NaOCl con IUP	13,0627*	3,1063	,002
	NaOCl	Control	-10,2661*	2,6668	,003
		NaOCl+EDTA	-1,1008	2,9311	,999
		NaOCl con IUP	2,7966	3,5241	,967
	NaOCl+EDTA	Control	-9,1653*	2,4127	,003
		NaOCl	1,1008	2,9311	,999
		NaOCl con IUP	3,8974	3,3359	,824
	NaOCl con IUP	Control	-13,0627*	3,1063	,002
		NaOCl	-2,7966	3,5241	,967
		NaOCl+EDTA	-3,8974	3,3359	,824

Tabla 18: Comparaciones múltiples de Tamhane para tercio coronal.

Se puede concluir que en el tercio coronal existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el resto de los grupos de tratamiento (NaOCl, NaOCl+EDTA e NaOCl con IUP). Y que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el resto de los grupos, es decir, que no existen diferencias entre hipoclorito de sodio, hipoclorito de sodio más ácido etilendiaminotetraacético y grupo de hipoclorito de sodio activado con IUP.

b) Medio

El test de Levene no rechaza homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	Significación
,437	,727

Tabla 19: Estadístico de Levene tercio medio.

En el test de ANOVA, con $p = 0.014$ ($p < 0.05$), se observan diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos empleados en el tercio medio.

Para conocer dónde se encuentran esas diferencias, se recurre a las pruebas *post hoc* de Subconjuntos Homogéneos de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch. Se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre grupo control y grupo NaOCl y grupo control y NaOCl+EDTA, y no existen diferencias entre grupo control y grupo IRRI y grupos NaOCl y NaOCl+EDTA con grupo NaOCl con IUP.

En la tabla se indican en el mismo color los grupos que no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos y en colores diferentes los que sí.

TRATAMIENTO		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
Ryan-Einot-Gabriel-Welsch	NaOCl+EDTA	20	44,490	
	NaOCl	20	45,279	
	NaOCl con IUP	20	48,533	48,533
	Control	20		51,973
	Sig.		,231	,310

Tabla 21: Test Ryan-Einot-Gabriel Welsch tercio medio.

c) Apical

El test de Levene no rechaza homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	Significación
2,071	,111

Tabla 22: Estadístico de Levene tercio apical.

En el test de ANOVA, con $p = 0,272$ ($p > 0.05$), se rechaza que se observen diferencias estadísticamente significativas para cualquiera de los tratamientos para el tercio apical.

—●DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

El estudio realizado se basa en esa capacidad que tiene el hipoclorito de sodio y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), con o sin activación, para disminuir la dureza dentinaria radicular.

La discusión se presenta atendiendo primero al material y método y después a los resultados obtenidos tras la realización del estudio.

MATERIAL Y MÉTODO

1. Elección de grupo dentario

Siguiendo a autores como Grigoratos (20) o Sim (144) no se discriminó entre los diferentes grupos dentarios, empleando tanto incisivos como caninos, premolares y/o molares, ya que nuestro interés se basa en la dentina y no la forma anatómica del diente que influye poco a ese respecto.

Grigoratos, en su estudio de 2001 (20) en el que determina el efecto de la exposición de la dentina a hipoclorito de sodio e hidróxido de calcio, en cuanto a la resistencia a la flexión y su módulo elástico, emplea, al igual que en nuestro estudio, indistintamente dientes de diferentes grupos dentarios humanos.

Hay que tener en cuenta, que en su caso el test a realizar va a ser de carga, con lo que la anatomía de esa dentina es fundamental a la hora de obtener resultados. Para solventar ese problema, obtuvieron barras de dentina estandarizadas de estos dientes.

También realizan un test de carga Sim y colaboradores en 2001 (144), empleando igualmente dientes humanos, maduros sin caries ni cracks, sin especificar qué tipo de diente utilizan, de los que obtienen también barras de dentina.

En un estudio similar, Macnick y colaboradores en 2003 (41) en el que se mide la influencia del MTAD sobre las propiedades mecánicas de la dentina, se emplean solamente molares de los que también se extraen barras estandarizadas de dentina.

De la misma manera, seleccionan el grupo dentario a utilizar en su estudio Doğan en 2001 (17) y Bui en 2008 (145). El primero emplea solamente incisivos superiores para comprobar el efecto de agentes quelantes e hipoclorito de sodio en el contenido mineral de la dentina radicular, y el segundo solo utiliza unirradiculares para la evaluación de la interacción entre el hipoclorito y la clorhexidina.

Otros autores como son White en 2002 (38), Soares en 2007 (105) y Mota Moreira en 2009 (13) también discriminan por grupo dentario, empleando incisivos pero bovinos.

White, al igual que Karlinsey (146) posteriormente en 2009, especifica que la utilización de dientes bovinos se debe a que se encuentran disponibles de forma inmediata y que en su morfología microscópica básica son similares a los dientes humanos.

En estudios en los que se realizan pruebas de dureza Vickers como los de Cruz-Filho en 2001 (25), Ari y colaboradores en 2004 (147), Eldeniz en 2005 (9) o Akcay en 2012 (19) también se ciñen a un único grupo dentario.

Excepto White, que determina el porqué de emplear diente bovino, el resto de los autores citados no dan razón por la cual discriminar o no con respecto al tipo de diente.

En nuestro estudio se decidió no discriminar por dos motivos:

- El primero es que el objeto de nuestro estudio es la dentina en sí y no el diente como tal. Al ser ésta un compuesto de estructura variable debido a sus consideraciones histológicas, es deseable tener la mayor variedad de “dentinias” posibles a la hora de comparar su dureza entre grupos de estudio.

La microdureza de la dentina puede variar considerablemente entre dientes. (148)

- En el test de Vickers, las superficies a medir deben ser planas y paralelas. Esto obliga a preparar la dentina radicular de tal manera que cumpla estas características, por lo que la anatomía dentaria no influye en la selección del diente.

2. Elección del irrigante

El primero de los irrigantes seleccionado fue el hipoclorito de sodio. Se decidió de esta manera debido a que el hipoclorito de sodio es la solución química más utilizada en la preparación biomecánica del sistema de conductos y se ha usado de forma sistemática en endodoncia en concentraciones entre el 0.5% y el 5.25% (8).

Ha sido muy recomendado como irrigante para el desbridamiento químico-mecánico de los conductos por su capacidad para disolver tejidos vitales y necróticos, unido a su habilidad como agente frente a un amplio espectro bacteriano (149).

Con respecto a su capacidad como solvente de tejido, Beltz en 2003 apunta que a concentraciones de 2,6 y 5,25% es capaz de eliminar eficazmente los componentes orgánicos de la pulpa (150).

Además al 5% induce alteraciones en el colágeno y glucosaminoglicanos, ofreciendo la hidroxiapatita un papel protector frente a esos cambios (88).

Pero el hipoclorito ha demostrado tener efectos no sólo sobre los componentes orgánicos sino también en mineralizados, pudiendo afectar desde el tejido óseo (151) hasta la matriz inorgánica de la dentina radicular (21).

Cuando la dentina se expone al hipoclorito de sodio, ésta sufre un efecto descalcificante que aumenta con el tiempo. Sayin encuentra que el mayor efecto descalcificante es con concentraciones al 5% (16), pudiendo producir cambios en el ratio calcio-fósforo de la composición dentinaria (106).

Aunque a pesar de esa afectación de la parte inorgánica de la dentina, hay autores como Patel en 2000 que consideran que el hipoclorito de sodio actúa principalmente sobre el componente orgánico de la dentina y la reacción con la parte mineral se puede excluir como causa de los cambios en las propiedades mecánicas (152).

Entre esos cambios en las propiedades mecánicas, se observa que el hipoclorito de sodio reduce la resistencia a la flexión y el módulo elástico de la dentina (20) (144) , y puede producir un debilitamiento de la dentina radicular (38).

También se describe disminución en la microdureza, que es mayor a mayor concentración (153).

Ya que los cambios en materia inorgánica y orgánica producen cambios en las propiedades físicas del diente, en este estudio se decide comprobar la capacidad del hipoclorito de sodio de producir alteraciones en la microdureza de la dentina radicular como irrigante único.

Pero el hipoclorito por sí mismo, es insuficiente como agente único, se eligió como segundo irrigante el EDTA.

Ya en 1983, Yamada aconseja irrigar con 10 ml de EDTA al 17%, seguido de 10ml de NaOCl al 5%. Se ha recomendado como una forma de eliminar el barrillo dentinario (154).

El EDTA ayuda a regularizar químicamente la dentina del conducto radicular, disolver el barrillo dentinario y aumentar la permeabilidad dentinaria, siendo éste el primer quelante empleado en la odontología, en su forma líquida y a una concentración del 17% (8).

Algunos autores como Zhender en 2005 puntualizan que el EDTA interfiere de forma negativa en el hipoclorito de sodio como irrigante, ya que disminuye la cantidad

de clorina libre (97), pero al utilizarse en el penúltimo lavado, la importancia de que exista clorina libre disminuye.

Existen otras posibilidades, como el ácido cítrico, pero produce más erosión en la pared del conducto que el EDTA (9).

Siguiendo la idea de Yamada (154) se eligieron para este estudio las concentraciones de hipoclorito de sodio al 5% y el EDTA al 17%, aunque otros autores emplean concentraciones muy variadas para determinar cómo el NaOCl afecta a las propiedades de la dentina y de que a día de hoy se conoce que para los biofilm de larga evolución es más eficaz el hipoclorito de sodio al 6% (155).

La elección de la concentración del 5% del hipoclorito de sodio sigue a los resultados obtenidos por Sayin, que como ya se ha mencionado, en su estudio de 2009 en el que encuentra que el mayor efecto descalcificante del hipoclorito sobre la dentina es con concentraciones al 5% (16), pudiendo producir cambios en el ratio calcio-fósforo de la composición dentinaria (106).

3. Elección de la técnica de activación del irrigante.

Con la intención de potenciar la acción limpiadora de los irrigantes, se ha incluido, en muchos casos, como parte del protocolo de irrigación la activación de los mismos.

En este estudio también se pretende saber si la utilización de la activación produce una alteración añadida a la supuesta alteración de la microdureza en la

dentina radicular que produce por sí mismo el hipoclorito de sodio, en combinación o no con el EDTA.

La activación obedece al principio de que para conseguir el éxito en el tratamiento endodóntico es determinante el poder eliminar los tejidos tanto vivos como necróticos, microorganismos y sus toxinas, además de las limallas del sistema de conductos radicular. Al ser éste complejo, se requiere de algún tipo de sistema de activación que ayude a los irrigantes a penetrar en istmos, estrechamientos, anastomosis y demás lugares de difícil acceso (156) .

A hora de elegir el tipo de activación, se decidió estudiar la acción de la irrigación ultrasónica ya que, como se recoge en la literatura, es la más efectiva para lograr la limpieza radicular , aunque presenta riesgos como son el transporte de conducto, *zipping*, perforaciones, producir superficies irregulares en los conductos, especialmente en los conductos curvos, y la extrusión de irrigantes al periápice (12) (74) (157).

Estos riesgos se minimizan al utilizarla de forma pasiva, es decir, sin tocar las paredes del conducto (158).

La irrigación ultrasónica pasiva (UIP) supera a la irrigación con aguja, y a la irrigación sónica en eliminación de detritos (81), aunque hay estudios que dicen obtener resultados similares entre IUP e irrigación sónica (159) y entre UIP y EndoVac (62) (78) o incluso que éste último supera a la irrigación ultrasónica pasiva (79).

4. Medio de conservación.

Desde la extracción de los dientes a su utilización en este estudio, éstos se conservaron en suero fisiológico a temperatura ambiente.

El objetivo de emplear suero es el de no añadir ningún elemento que interfiera en la dureza de los dientes, como podría ser utilizar agua del grifo como emplea Slutzky-Goldberg (160), que ya de por sí está clorada, o la de almacenarlos en una solución de cloramina T al 0.5% durante una semana seguida de agua destilada como hace Saghiri (161). Al tener las dos componentes de cloro podrían alterar la microdureza inicial de la dentina.

La utilización de suero fisiológico es la que eligen para sus estudios de microdureza Ari en 2004 (147) y Eldeniz en 2005 (9), pero en su caso controlan la temperatura o bien mediante el frío a 4°C, que no es su temperatura real en boca, o manteniéndolo a 37°C.

Quizá esta última opción sea la más similar a lo que ocurre en el medio oral, pero dificulta el almacenaje y transporte de los dientes.

En nuestro estudio se decidió mantener al a temperatura ambiente, porque al ser un estudio comparativo, se consideró que la temperatura será similar en todos los grupos analizados.

En cualquier caso, en toda la literatura consultada, se indica que los dientes siempre se mantienen en un medio húmedo, independientemente de la temperatura o que se especifique el medio en el que se almacena o, como Christensen en 2008 (31), no lo hagan.

5. Razones para medir dureza

Como ya se mencionó en la justificación, la determinación de la microdureza puede proveernos de evidencias medibles de pérdida o ganancia de minerales en los tejidos duros dentales (18) (19).

El motivo de comprobar la alteración sobre la microdureza producida por la combinación de los dos irrigantes es porque se conoce que esta unión produce la exposición de calcosferitas en zonas no instrumentadas, que dan aspecto de erosión (162).

Aunque se puede concluir que la erosión no es el factor principal para disminuir la microdureza dentinaria, sin embargo, la cantidad de penetración de hipoclorito facilitada por el EDTA sí que puede ser una razón importante para que esta dureza disminuya. (161)

6. Preparación de las muestras.

Cuando se preparan las muestras, deben ajustarse a las necesidades del microdurómetro Vickers, que exige que las superficies de la muestra a medir sean planas y paralelas.

Para realizar esos cortes que proporcionen paredes planas y paralelas se emplea la cortadora Exakt cutting unit 400, que es una hoja de diamante a baja velocidad siempre con irrigación siguiendo lo realizado por otros autores como Ari en su estudio de 2004 (147), Eldeniz en 2005 (9) o Saghiri en 2009 (161).

Otros autores emplean fresas a alta velocidad (8) (149) (10), usan discos (21) (13) o no especifican la manera en la que seccionan las muestras (19) (163).

La cortadora Exakt proporciona cortes ajustados, asegurando que el tamaño de la muestra sea siempre el mismo, sin depender de la precisión que tenga aquél que la prepara con el instrumento de corte, y con superficies paralelas entre sí.

A la hora de determinar el grosor de la muestra, en la literatura se encuentra que para la medición con microdurómetro Vickers el tamaño varía entre 1 y 10mm (164) (165) (16) (25).

Al igual que Slutzky-Goldber (160) en su estudio de 2002 o Qing en su estudio de 2006 (163), en este estudio se obtienen secciones transversales de 3mm de grosor de dentina radicular.

Al obtener muestras de 3mm, se pueden obtener varias muestras del mismo diente, en caso de que sean polirradiculares, e incluso permite determinar a qué tercio pertenece esa muestra: coronal, medio o apical.

Es interesante discriminar entre tercios porque los materiales biológicos como la dentina no son homogéneos, con una densidad de tubulillos dentinarios que disminuye de cervical a apical. (166).

Existe correlación inversa entre la microdureza dentinaria y la densidad tubular (167), por lo que la microdureza variará también en función del tercio radicular que se estudie.

Todas las muestras se obtienen haciendo cortes transversales en raíces dentarias. Hay autores que siguen el eje longitudinal del diente, dejando así expuesto el conducto. Esto es así porque en estos trabajos solo el conducto se somete al irrigante y será en sus paredes dónde se mida la microdureza (147), mientras que en este estudio se sumerge la muestra en el irrigante, por lo que la dentina se ve afectada en su totalidad por éste.

Esto nos permite hacer mediciones en diferentes tercios del diente y a distinta distancia del conducto, con lo que la microdureza no se ve influenciada por la densidad y/o grosor de los tubulillos dentinarios existentes en el punto de medición.

Pero para que la dentina se someta íntegramente al irrigante y no solamente en un punto concreto como podría ser el conducto radicular, se debe sumergir la muestra completamente.

De esta manera además de poner en contacto toda la dentina con el irrigante, estamos llevando al extremo una situación clínica que hace que los resultados sean mucho más significativos.

La cantidad de irrigante elegida para sumergir la muestra es de 10ml, al igual que emplea Sayin en su estudio de 2009, en el que sumerge las muestras con el objetivo de observar el efecto descalcificante de los irrigantes (16).

Cruz-Filho emplea una menor cantidad de irrigante, 50µm, pero también hay que tener en cuenta que emplea porciones transversales de 1mm, menos gruesas de las empleadas en este estudio (25).

Ari en 2004 (147) y Ballal en 2010 (168), emplean cantidades menores (de 5ml y 1ml respectivamente), aunque su forma de preparar la muestra también varía, puesto que realizan secciones longitudinales del diente, y sólo exponen esa sección al irrigante.

En nuestro estudio, cada una de las muestras se sumerge en 10 ml de irrigante, ya sea hipoclorito o EDTA, durante una hora.

En la literatura se encuentran gran variedad de tiempos, desde Ballal con un solo minuto (168) hasta los 240 minutos empleados por Zhang en 2010 para comprobar que el efecto dañino producido por el hipoclorito de sodio es dependiente del tiempo y de la concentración, pero que no está relacionado con la desmineralización (169).

De nuevo, si comparamos con Cruz-Filho (25), vemos que el tiempo es mucho más corto, de 5 minutos, pero también su muestra es mucho más fina, de 1mm de grosor.

La elección de 60 minutos como tiempo en el que la muestra se encuentra sometida a la acción del irrigante se debe a que una hora es un tiempo muy similar al empleado en clínica en el tratamiento de conductos.

Podría pensarse que es más realista emplear los mismos tiempos que Marending en su estudio de 2007 (170) en el que emplea tiempos de 24 minutos para el hipoclorito de sodio y de 3 minutos para el EDTA. Quizá esos tiempos sean más ajustados siempre que el tratamiento de conductos se realice en una sola sesión, que el diente se unirradicular, que no existan complicaciones... cosa que no siempre ocurre, por lo que consideramos más apropiado para nuestro estudio, un tiempo más largo.

Veinte minutos es el tiempo mínimo para que se destruyan restos pulpaes, pero durante un tratamiento endodóntico es fácil que el tiempo sea mayor.

Machnick en 2003 emplea hasta 2 horas en su estudio (41) con la justificación de que es el tiempo máximo que un diente se expone a un irrigante en un tratamiento endodóntico multivisita.

Teniendo en cuenta que durante el tratamiento endodóntico no se emplea irrigación durante toda la sesión, por ejemplo en fases como la apertura o la obturación de conductos, consideramos como un tiempo excesivo, aún más sabiendo que a mayor tiempo mayor alteración en las propiedades físicas de la dentina, como puede ser en el módulo de elasticidad (107).

El hecho de emplear el mismo tiempo con el hipoclorito de sodio que con el EDTA atiende a una razón de estandarización, aunque se sabe que el efecto descalcificante de los quelantes depende del tiempo de aplicación, el pH y la concentración.

El EDTA es capaz de eliminar iones de calcio de la dentina radicular, en mayor cantidad cuanto más tiempo actúe y, a pesar de que no se trata de un quelante, el hipoclorito de sodio también puede hacerlo, aunque su relación con el tiempo no está tan clara (171).

En el caso de las muestras que se preparan con activación ultrasónica pasiva, se realizan tres ciclos de 20 segundos con 10ml de hipoclorito de sodio al 5% y entre cada ciclo se intercambia el irrigante, excepto después del último ciclo, en el que ese mismo hipoclorito se mantiene hasta cumplir una hora sumergido.

Esta activación se realiza solamente sobre el irrigante, con movimientos de arriba abajo, como indica Munoz en 2012 (62), sin tocar en ningún momento las muestras, puesto que dejaría de ser irrigación pasiva y podría producir alteraciones en la superficie de la dentina y sin tocar el receptáculo en el que se han depositado tanto la muestra como el irrigante, ya que éste absorbería parte de la vibración limitando la acción del ultrasonido.

El tiempo elegido por los diferentes autores en la literatura varía entre 30 segundos y 3 minutos (79) (81) (159) (72).

En este estudio se decide utilizar la de 3 ciclos durante 20 segundos, que es la misma que la empleada en el estudio De Moor en 2010 (7) en el que concluye que la utilización de UIP es tan eficaz como el láser de erbio cuando se emplea con este patrón.

El mismo tiempo final y número de activaciones emplea Castelo-Baz en 2012 en el que estudia la eficacia de la activación ultrasónica pasiva y la continua (156).

El hecho de cambiar el hipoclorito entre las diferentes activaciones obedece a lo expuesto por Van der Sluis en 2010 (172) en el que muestra que si se refresca el irrigante durante la activación ultrasónica pasiva durante un periodo de tres ciclos de activación tiene como resultado un efecto acumulativo en la eliminación de detritus en el conducto radicular.

Por último, con respecto a la activación, señalar que la opción de activar el hipoclorito es la más seguida en la literatura, aunque hay autores que también activan el EDTA y/o la clorhexidina, como es el caso de Beus en su estudio de 2012, en el que compara un protocolo de irrigación activado mediante ultrasonidos y otro en el que no se activa. En este caso, además de activar el hipoclorito de sodio en una concentración del 1% durante 30 segundos, seca el conducto para activar EDTA al 17% durante el mismo tiempo, y por último, tras secar de nuevo, clorhexidina al 2% (173), aunque no obtiene diferencias estadísticamente significativas entre el protocolo de irrigación sin UIP y el protocolo en el que emplea UIP.

7. Preparación de un soporte para la muestra

Cuando las muestras están cortadas y han sido sometidas a la acción del irrigante, sea con activación o no, el siguiente paso es proporcionarles un soporte que permita llevarlas al microdurómetro Vickers.

Como esta base tiene que respetar los mismo principios que las muestras, paredes planas y paralelas entre sí, se decidió colocar las muestras, siempre dejando expuesta la superficie coronal de la muestra, dentro de un cilindro de PVC y luego rellenar ese cilindro con

resina autopolimerizable para fijarlas en una posición estable, obligando mediante una presa a que las paredes resultantes cumplieren los requerimientos exigidos para el microdurómetro.

Una vez montados en su soporte, las muestras fueron pulidas mediante la pulidora, con el objetivo de obtener una huella más definida una vez la muestra se mida con el microdurómetro Vickers.

En la literatura se encuentran formas variadas de preparar las muestras para medir las alteraciones en las propiedades físicas de los dientes.

En el estudio de Saleh y Ettman de 1999 (21) se eliminan las coronas de los dientes a la altura de la unión amelocementaria y se instrumenta mediante la técnica de “*stepback*” hasta una lima de diámetro 50, irrigando con suero salino.

Se estabilizan en un molde plástico y se seccionan transversalmente en tercio coronal, medio y apical de 3mm de grosor. Se realizan mediciones con microdurómetro Knoop y después se someten a los irrigantes, para seguidamente volver a medir y de ésta manera hallar la diferencia de dureza entre las dos mediciones.

Cruz-Filho y colaboradores en su artículo de 2001 (25), al contrario de lo que se ha hecho en este estudio, primero fijan las raíces en bloques de resina y luego lo cortan transversalmente en secciones de 1mm para obtener tres porciones de cada tercio. Eliminan la resina de la segunda porción cervical y luego la dividen en cuatro partes, siempre colocando la parte coronal hacia arriba, al igual que en este estudio. A partir de este punto es cuando empieza a tratar las muestras con los diferentes irrigantes a testar, para posteriormente hacer mediciones de microdureza.

Eldeniz en 2005 (9), monta los especímenes en resina autopolimerizable, aunque en vez de preparar las muestras mediante cortes transversales, lo hace longitudinalmente, con lo que la superficie a estudiar resulta ser la correspondiente al conducto radicular. Posteriormente, de la misma manera que hemos hecho en nuestro estudio, las muestras se suavizan utilizando papeles abrasivos cada vez más finos. Al igual que en el estudio anterior, también monta primero las muestras para después someterlas al irrigante.

Qing en 2006 (163) primero secciona las raíces en planos paralelos de 3 a 5mm y acto seguido de forma longitudinal, para obtener seis muestras de cada diente. La superficie externa del diente se fija con resina autopolimerizable y se ajusta para que sea paralela a la superficie del espécimen. Pule las muestras con papel resistente al agua de 800 a 1500 μ m y una solución de alúmina. También él emplea el irrigante testado después de haber montado la muestra.

Sayin en 2007 (10) lo que hace es eliminar la corona dentaria, dividir al diente longitudinalmente y después embeberlo en resina autopolimerizable, dejando la superficie dentinaria expuesta y pule las superficies con papel de carburo de silicio de entre 500 y 1200 μ m. Siguiendo la línea de los anteriores estudios, también es ahora cuando emplea los irrigantes.

En 2007 Al-Salehi (164) emplea contenedores cilíndricos de plástico, cuya cara interna embadurna con vaselina. Coloca el diente centrado en él, ayudándose de cera y lo rellena con resina epoxi. Elimina las bases del contenedor de tal manera que las superficies queden paralelas y después pule la superficie expuesta del diente con discos de carburo de silicio entre 240 y 1200 μ . Esta forma de montarla es la más similar a la que se ha realizado en este estudio, aunque, al igual que en los casos anteriores, es en este punto en el que emplea el irrigante a testar.

Saghiri en 2009 (161), realiza un estudio para relacionar la erosión y la microdureza del estudio. Aunque sí habla de cómo corta las muestras, no especifica de qué manera las prepara para poder someterlas a un test de Vickers, pero sí que dice que antes de someterlas a los líquidos a estudiar, hace una primera medición Vickers, para luego tratarlas y volver a hacer una medición, de lo que se deduce que sea como sea que monte la muestra, lo hace antes de irrigarlas.

En el estudio de 2012 de Akcay (19), los dientes se decoronan y se dividen longitudinalmente en dos, para después embeber cada una de las partes en resina autopolimerizable exponiendo la dentina dentaria. También se pulen utilizando papeles cada vez más finos. Una vez montados y pulidos, se determina la dureza de la dentina previa y post tratamiento.

Por lo observado en estos estudios, la gran diferencia con el protocolo que se ha seguido en la realización de nuestro experimento, además de la dirección del corte de la muestra, es la de que se montan en el soporte y después se tratan.

Esto supone que sólo se producen contacto de la dentina y el irrigante en la zona expuesta, ya la resina autopolimerizable sirve de aislante en las zonas que ésta recubre al diente.

Este es el motivo por el que se decidió sumergir las muestras en el irrigante previo a la medición, para que todas las superficies de la misma se vean afectadas. Además, puede ser que el hecho de que las muestras estén envueltas en una resina absorba parte de las vibraciones ultrasónicas producidas por IrriSafe Acteon Satelec (VDW, Germany), y por tanto no demostrar plenamente sus capacidades

8. Medición de las muestras.

A igual que Galhamo en su estudio de 2008 (174), a la hora de medir la dureza se determina que cada una de las muestras se va a medir en tres puntos, y que cada una de esas mediciones se hará dos veces.

Se tomó la determinación de medir en tres puntos diferentes de la superficie dentinaria porque la microdureza dentinaria varía en función del punto en que ésta se chequee.

Es decir que la dureza de la dentina está relacionada con su localización, y sus valores disminuyen según nos acercamos a la pulpa (167).

Esto es así porque el aumento del número de tubulillos dentinarios abiertos libres de dentina peritubular cerca de la pulpa ofrecen una menor resistencia al indentador. (175) (176).

Por eso, se decidió hacer mediciones en puntos aleatorios para disminuir el condicionamiento que supone la cercanía al conducto radicular.

Además, para reducir el sesgo producido por el observador al delimitar las longitud de las diagonales hechas por el indentador del microdurómetro Vickers, todas las medidas hechas se repiten dos veces y será la media de esas dos mediciones la que se emplee como valor de microdureza en el punto determinado, al igual que procede Cruz-Filho (8) en su estudio de 2011.

El microdurómetro Vickers se ajustó con los valores 20segundos y 4,9N de carga.

En la literatura encontramos autores que emplean tiempos y cargas menores como Cruz-Filho (25) que emplea 50g y 15 segundos o Ackay con 50g y 10 segundos, o con cargas más altas que las anteriores pero con tiempos más cortos que los empleados por nosotros como Slutzky-Goldber (160) o Karlinsey con 200g de carga y 15segundos de duración (146). Sayin aumenta el tiempo con respecto a nuestro estudio, pero tiene cargas menores que otros autores, de 200g (10) y tanto Eldeniz como Ari emplean cargas de 300g y de 20segundos (9) (106).

En el momento que se realizan las mediciones correspondientes con el microdurómetro Vickers, se obtienen los datos de microdureza que se analizan estadísticamente obteniendo los resultados del estudio.

RESULTADOS

1. Dureza de la dentina sin tratar.

En el grupo control se ve que existen diferencias entre el tercio apical y los tercios medio y coronal, teniendo el primero un valor de dureza inferior a los otros dos.

Según Carrigan (177), la densidad tubular de la dentina decrece de cervical a apical. Además Pashley (167) reporta una relación inversa entre la microdureza y la densidad tubular, por lo tanto se podría decir que este según este patrón histológico la dureza debería ser menor en cervical (148).

Esto se contradice con los resultados obtenidos en nuestro estudio, que habla de menor dureza en apical.

Es cierto que la densidad de tubulillos dentinarios es menor en tercio apical que en coronal, pero también es verdad que esos tubulillos son más anchos cuanto más cerca se encuentran del conducto dentario (178).

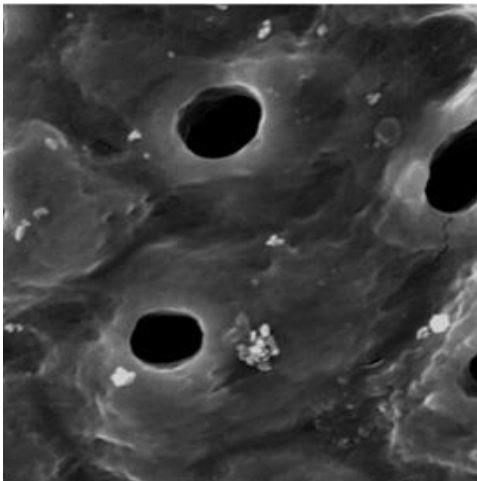


Imagen 26: Imagen de la dentina apical obtenida por SEM(5,000x) (179).

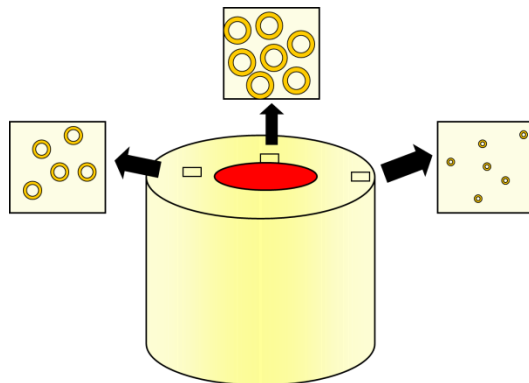


Imagen 27: esquema de cómo varía el grosor de los tubulillos dentinarios en función de la cercanía con la pulpa

Al ser el diámetro del tercio apical mucho menor que el de los otros dos tercios, podría ocurrir que la anchura de esos túbulos en la superficie dentaria sea mucho mayor que en el tercio coronal y medio, como se muestra en la imagen 28.

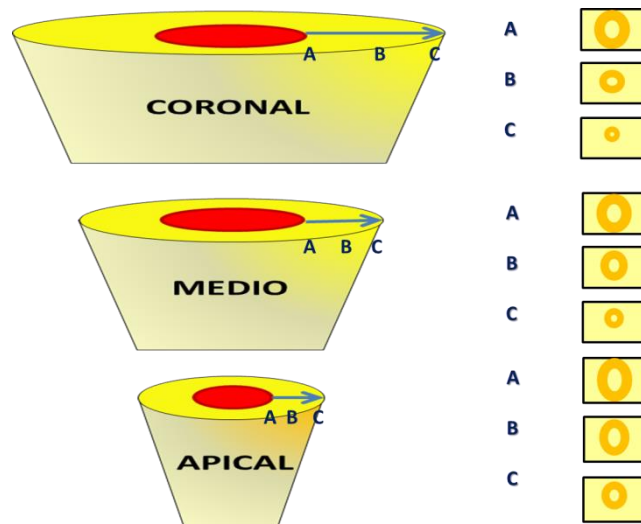


Imagen 28: Esquema de la distancia de pulpa a superficie apical y diámetro de los túbulos

De esta forma, si se hicieran mediciones a una distancia determinada del conducto, pongamos como ejemplo 0.5mm, la densidad tubular haría que la dureza en apical fuese mayor que en los otros dos tercios.

Ahora bien, si esas mediciones se hacen de forma aleatoria en toda la superficie de la muestra apical, podría ser que el mayor ancho de esos túbulos haga que en este tercio la cantidad de material mineralizado sea menor, por lo que habría posibilidades de que se recogieran datos de microdureza más bajos.

2. Cambios de dureza dentinaria producidos por los irrigantes.

En primer lugar, analizamos la reducción de dureza que puede producir cada uno de los irrigantes empleados en cada uno de los tercios radiculares.

Tanto en los grupos tratados con hipoclorito de sodio al 5%, como en los tratados con hipoclorito de sodio al 5% más EDTA al 17% así como en los que lo fueron con hipoclorito de sodio al 5% activado con UIP, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tercios.

Como ya se ha expuesto anteriormente, la cantidad de tejido mineralizado en el tercio apical puede ser menor por el mayor diámetro de los túbulos dentinarios y también sabemos que los irrigantes endodónticos son capaces de cambiar la composición química de la dentina mediante la eliminación de elementos inorgánicos como los iones de calcio presentes en la hidroxiapatita (180). Así se producen cambios en las propiedades físicas, como por ejemplo en la microdureza (181).

Si, efectivamente, la cantidad de material mineralizado es menor en la superficie del tercio apical, los cambios en dureza también serán menores, y por tanto las pérdidas en dureza, producidas por los irrigantes, serán mayores en tercio medio y coronal. Por esta razón, podrían no existir diferencias estadísticamente significativas entre los tres tercios una vez que hemos tratado las muestras.

En segundo lugar, comparamos la acción de los irrigantes, sobre la dureza dentinaria, en cada uno de los tercios radiculares para comprobar si alguno de ellos tiene un efecto mayor que los demás.

Se observó que en el tercio coronal existen diferencias entre la dureza del grupo control, siendo éste más duro, y el resto de los grupos tratados.

En el tercio medio, se observa una disminución de la dureza tras el tratamiento con los diferentes irrigantes empleados en este estudio, activados o no mediante

técnicas de irrigación ultrasónica pasiva. Hay que reseñar que existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y grupo NaOCl y entre el grupo control y NaOCl+EDTA, siendo más duro en ambos casos el control, y no existen diferencias entre grupo control y grupo NaOCl activado por IUP. Además no existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo NaOCl activado por IUP y los grupos NaOCl y NaOCl+EDTA.

Esto es así porque los rangos de dureza que se barajan son muy estrechos y una pequeña variación en el valor de uno de los grupos puede hacer que existan diferencias estadísticamente significativas.

Los valores de dureza obtenidos en unidades de dureza Vickers para el hipoclorito de sodio al 5% y el hipoclorito de sodio al 5% + EDTA al 17% son muy similares entre sí (44,490 y 45,279).

Los valores en unidades de dureza Vickers para el grupo el hipoclorito de sodio al 5% activado mediante IUP, aunque siguen siendo muy cercanos a los dos anteriores (48,533), también se encuentran muy cerca del grupo control (51,973), aunque sean menores.

Por eso, existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y los grupos hipoclorito de sodio al 5% y el hipoclorito de sodio al 5% + EDTA al 17%, pero no con el grupo hipoclorito de sodio al 5% activado mediante IUP. Así mismo, tampoco existen diferencias entre este último grupo y los dos anteriores. De esto se deduce que la utilización de activación ultrasónica no compromete más la dureza de la dentina radicular.

En el tercio apical vemos que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos realizados.

Este tercio presenta menor dureza que el tercio medio y coronal antes de emplear ningún irrigante. Tras la utilización de éstos, no existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el resto de los grupos.

Esto puede explicarse porque la dureza del grupo control en el tercio apical ya de por sí es menor que en el resto de los grupos, con lo que se igualará al resto al disminuir la dureza de éstos. Además, es posible que al tener menor cantidad de tejido mineralizado, por la presencia de tubulillos dentinarios más gruesos, la afectación que sufre la dureza tras la utilización de los irrigantes sea menor. Todo esto puede provocar que no existan diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el resto de los grupos.

El estudio de Saleh de 1999 (21) concluye que tanto la irrigación con peróxido de hidrógeno/hipoclorito de sodio como con EDTA reduce la microdureza de la dentina. Al no diferenciar entre tercios, no se puede decir que concuerde totalmente con nuestros resultados, lo que sí remarca es que a mayor cercanía con la pulpa dentaria, menor es la microdureza.

Grigoratos en 2001 (20) no habla de la microdureza, sino del módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión. Concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre la dentina no tratada y la sometida a hipoclorito de sodio o a un a hipoclorito de sodio más hidróxido de calcio. Aunque no se refiere a microdureza, también nos habla de que existen cambios en las propiedades mecánicas que se producen por la utilización de irrigantes, al igual que nuestro estudio.

Tampoco Sim en 2001 (144) se refiere a la microdureza. Al igual que Grigoratos habla de resistencia a la flexión y módulo elástico, llegando a la conclusión de ambos se ven disminuidos al utilizar hipoclorito de sodio al 5.25%, por lo concluye que la dentina también sufre cambios en sus propiedades físicas.

Cruz-Filho (182) evalúa la acción de diferentes quelantes como son EDTAC(EDTA+ Cetavlon, un amonio cuaternario surfactante), CDTA (ácido ciclohexano-1,2-diaminetetraacético) y EGTA (Éter glicol-bis- β -amino-etil) en 2001 y obtiene como resultado que los tres quelantes disminuyen la microdureza de la dentina, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. En este caso sólo emplea para el estudio muestras del tercio cervical. Este resultado es similar al nuestro, en el que se encuentran diferencias estadísticamente significativas en el tercio coronal entre el grupo control y el resto de los grupos del estudio.

En el estudio de Hülsman de 2002 (165) se somete a la dentina a la acción del peróxido de hidrógeno más hipoclorito de sodio (grupo control) y posteriormente a tres pastas quelantes diferentes. No encuentran diferencias estadísticamente significativas en microdureza dentinaria entre el grupo control y las diferentes pastas quelantes o entre los quelantes entre sí.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en nuestro estudio, en el que no existen diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los tercios entre el grupo hipoclorito de sodio e hipoclorito de sodio más EDTA.

En el estudio de Sluzky-Goldberg de 2002 (160) se observan diferencias estadísticamente significativas al emplear hipoclorito de sodio al 2,5% e instrumentación mecánica con respecto al grupo control, que es en el que emplean sólo el hipoclorito de sodio. De esto podemos concluir que la instrumentación es un

factor de debilitamiento extra, no sólo porque elimine tejido dentario, sino porque disminuye la dureza del remanente.

White también en 2002 (183) llega a la conclusión de que utilizar, entre otros, hipoclorito de sodio durante 5 semanas debilita al diente. Aunque el tiempo es mucho mayor, y el parámetro que mide no es la microdureza sino fuerza de compresión, la conclusión a la que llega es similar a la nuestra.

El estudio de Ari de 2004 (106) llega a conclusiones similares a las obtenidas en este estudio, que el hipoclorito de sodio al 2.5% o 5.25% o el EDTA a 17% disminuyen la microdureza del diente, aunque es cierto que no realiza discriminación entre los diferentes tercios radiculares.

En otro estudio de Slutzky-Goldberg, esta vez en 2004 (153), llega a la conclusión de que a mayor concentración de hipoclorito, mayor es la reducción de la microdureza. En nuestro estudio no hemos aumentado la concentración, pero sí se ha activado el hipoclorito, aunque no se obtienen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo NaOCl o NaOCl activado por UIP.

Eldeniz en 2005 (181) señala diferencias significativas en microdureza entre la dentina no tratada y la tratada con ácido cítrico y EDTA, siendo el menos duro el grupo del ácido cítrico.

Sayin (10) compara el efecto del EDTA, EGTA, EDTAC y una tetraciclina con o sin hipoclorito de sodio y su efecto sobre la microdureza. Concluye que el irrigante que más disminuye la dureza es el EDTA con o sin hipoclorito de sodio.

En nuestro estudio encontramos que el hipoclorito por sí solo o combinado con EDTA produce reducción de la microdureza dentinaria. Sería interesante realizar un estudio para comparar cuál de los dos irrigantes produce un mayor cambio en la dureza, si el hipoclorito de sodio o el EDTA.

Al igual que Saleh en 1999 (21), Oliveira en 2007 (149) compara las diferencias de microdureza a 500µm y 1mm de la luz del conducto, y concluye que en los dos puntos la microdureza se ve mermada por el hipoclorito de sodio a 1% de concentración y la clorhexidina al 2%. Como en el caso de Saleh, vuelve a comparar la distancia al conducto sin tener en cuenta el tercio al que pertenece la medición.

Cruz-Filho en 2011 (184) vuelve a estudiar la relación de la microdureza con los quelantes, llegando a la conclusión de que todos los quelantes estudiados (EDTA, ácido cítrico, ácido maleico y ácido acético) excepto el vinagre de manzana producen efectos negativos sobre la dureza dentinaria.

Según Ackay, si a esos quelantes, en concreto el EDTA, se le añade un surfactante, producen una mayor disminución de la microdureza, por lo que es cuestionable el añadir una mayor concentración de surfactante al 0.25%.

En general todos los estudios revisados apuntan a que la utilización de irrigantes, ya sea hipoclorito de sodio, quelantes o clorhexidina, disminuyen la dureza dentinaria.

Esto plantea de nuevo el conflicto entre la necesidad de utilizar estos irrigantes y las posibles consecuencias de su uso durante el tratamiento de conductos.

Como ya se ha comentado con anterioridad, el irrigante ideal no existe y sería interesante que además de cumplir con los requisitos clásicos, atendiera también a su capacidad para alterar las características físicas de la dentina, entre ellas la microdureza.

————● CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Previamente al tratamiento con cualquier irrigante, existen diferencias estadísticamente significativas entre la dureza dentinaria del tercio apical, del tercio medio y del coronal, siendo menor la dureza en apical.
2. Todos los irrigantes utilizados en nuestro estudio:
 - Hipoclorito de Sodio al 5%
 - Hipoclorito de sodio al 5% combinado con ácido etilendiaminotetraacético al 17%
 - Hipoclorito de sodio al 5% activado con técnica de irrigación ultrasónica pasiva

afectan a la dentina radicular produciendo una disminución de la dureza, aunque no en todos los casos existan diferencias estadísticamente significativas.

3. En cuanto al tratamiento empleado, se observa que:
 - 3.1. El **hipoclorito de sodio al 5%** produce la misma afectación independientemente del tercio radicular que se trate.
 - 3.2. El **hipoclorito de sodio al 5% combinado con ácido etilendiaminotetraacético al 17%** produce la misma afectación independientemente del tercio radicular que se trate.
 - 3.3. El **hipoclorito de sodio al 5% activado con técnica de irrigación ultrasónica** pasiva produce la misma afectación independientemente del tercio radicular que se trate.

4. En función al tercio radicular al que pertenece la dentina podemos

decir que:

4.1. En el **tercio coronal**: Todos los irrigantes utilizados en nuestro estudio, producen la misma disminución de la dureza, existiendo diferencias estadísticamente significativas con el valor inicial del grupo control.

4.2. En el **tercio medio**: los irrigantes que producen mayor disminución de la dureza de la dentina son el hipoclorito de sodio al 5% y el hipoclorito de sodio al 5% combinado con el ácido etilendiaminotetraacético al 17%, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

4.3. En el **tercio apical** todos los irrigantes utilizados en nuestro estudio, producen la misma disminución de la dureza de la dentina radicular, aunque no existen diferencias estadísticamente significativas con el valor inicial del grupo control.

5. Se necesitan más estudios que determinen la influencia que la variación de concentraciones, tiempos de exposición y medios de activación del hipoclorito de sodio y el ácido etilendiaminotetraacético puedan producir sobre la dureza de la dentina radicular.

—●ABSTRACT

ABSTRACT

INFLUENCE OF SODIUM HYPOCHLORITE, ETHYLENEDIAMINETETRAACETIC ACID AND ULTRASONIC IRRIGATION SYSTEMS ON RADICULAR DENTIN HARDNESS.

JUSTIFICATION

Nowadays, vertical fractures are one of the most important challenges for clinicians. These fractures are nearly impossible to treat and their diagnosis is really complex. In order to prevent their appearance, we need to know their underlying factors. Endodontic irrigants could be one of these factors.

Sodium hypochlorite(NaOCl) and Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), activated or not by ultrasonic irrigation systems, are essential to achieve a successful result during a root canal treatment. But both of these irrigation solutions could modify the dentin physical properties, such as microhardness.

Hardness represents materials resistance to be broken and dental irrigants can weaken it by affecting the dentin chemical structure. But this structure varies along the tooth root, therefore we should know if these endodontic solutions affect all the dentin structure of the tooth thirds in the same way.

Although there are other risk factors for vertical fractures, in this study we decided to investigate the relationship between irrigants and microhardness because the use of NaOCl and EDTA seems to be unavoidable during root canal treatment, and it is important to notice how dentin microhardness can be altered by them. We were also interested in seeing if hardness is affected in different degrees depending on the root thirds.

WORKING HYPOTHESIS

The null hypothesis is that:

- Microhardness of radicular dentin presents no differences before and after using endodontic irrigant solutions with or without ultrasonic activation.
- Microhardness of radicular dentin presents no differences among root thirds, although they have been treated or not with endodontic irrigant solutions, with or without ultrasonic activation.

OBJETIVES

1. To determine if there are significant differences in dentin microhardness among different root thirds previous to the treatment with endodontic irrigants.
2. To determine if there is affection of the dentin root hardness by the use of : 5% Sodium hypochlorite, 5% Sodium hypochlorite plus 17% Ethylenediaminetetraacetic acid and 5% Sodium hypochlorite activated by passive ultrasonic irrigation technique.
3. To check if the those irrigants affects dentin microhardness in a different way depending on the root third where it is applied.
4. In case of affection of root dentin microhardness, to check which irrigant affects the most to dentin hardness, in each root third.

METHODS

81 extracted human teeth were used, including maxilar and mandibular incisives, canines, premolars and molars. These teeth were free from fractures, cracks, root caries or fillings, immature apex or root canal treatment. Each dental root was cut into 3mm parallel face samples attending to the root third they belonged to. So we got 81 coronal samples, 93 medium samples and 98 apical samples. 80 samples from each third were randomly chosen.

Specimens from each third were divided into four groups at random according to the irrigation solution to be used: Group 1, saline as control; Group 2, 10ml 5% sodium hypochlorite (NaOCl) for 60minutes; Group 3, 10ml 5% Sodium hypochlorite for 60minutes plus 10ml 17% ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA) for 60 minutes; and Group 4, 10ml 5% sodium hypochlorite 5% for 60minutes activated by passive ultrasonic irrigation technique (three cycles of 20 seconds, and changing 10 ml sodium hypochlorite every cycle). All samples were rinsed with saline for 15 seconds after irrigation solution treatment and then dried with paper sheets.

With the purpose of providing a supporting device for microdurometer Vickers, every four samples, treated with the same irrigant technique and belonging to the same radicular third, were positioned on one glass tile with their coronal face down. This tile was smeared with a thin layer of petroleum jelly. Then a plastic cylinder was placed rounding each four specimens and after, the samples were fully embedded in selfcuring acrylic resin. Following, another glass tile was put over the cylinder and kept in that position under pressure until the resin was cured. Any resin excesses were removed by a cutter. The exposed tooth tissue was polished with 800 and 1200µm SiC polish paper discs.

The Vickers microhardness of each sample was measured using a microindentation hardness tester, under the condition of load 4,9N and retentive duration 15 seconds. Vickers measurements were performed in three points of the dentinal surface, and every measurement was done twice. Final value for each sample was calculated over the average measurements.

The statistical tests used were: Levene's test, if homogeneity of variance was confirmed then, inferential analysis of variance test (ANOVA) was used and Ryan-Einot-Gabriel-Welsch's test as *pos hoc* test if homogeneity of variance was rejected, then test of Brown-Forsythe and test of Tamhane as *pos hoc* test.

RESULTS

One-way variance analysis attending to irrigant technique:

- Control: there are differences among the root thirds, and the apical third presented the lowest hardness.
- Sodium hypochlorite 5%: there are no statistically significant differences among the root thirds.
- Sodium hypochlorite 5% plus EDTA 17%: there are no statistically significant differences among the root thirds.
- Sodium hypochlorite 5% activated by passive ultrasonic irrigation technique: there are no statistically significant differences among the root thirds.

One-way variance analysis attending to root third:

- Coronal: there are statistically significant differences between the control group and the rest of groups, and there are no statistically significant differences among the rest of the groups.
- Medium: there are statistically significant differences between control group and NaOCl 5% and NaOCl 5% plus EDTA 17% groups. There are no statistically significant differences between control group and NaOCl 5% activated by passive ultrasonic irrigation technique, and there are no statistically significant differences between NaOCl 5% activated by passive ultrasonic irrigation technique and NaOCl 5% and NaOCl 5% plus EDTA groups.
- Apical: there are no statistically significant differences among the different groups.

CONCLUSIONS

1. Previous to any irrigant treatment, there are significant differences in microhardness among the root thirds, and the apical third presented the lowest hardness.

2. All irrigant solutions employed in our study (sodium hypochlorite 5%, sodium hypochlorite 5% plus 17% ethylenediaminetetraacetic acid, and sodium hypochlorite 5% activated by passive ultrasonic irrigation technique) affect to dentin hardness and weaken it even if no significant differences were found.
3. Attending to the dental irrigant solution used (5% Sodium hypochlorite, 5% Sodium hypochlorite plus 17% ethylenediaminetetraacetic acid and 5% Sodium hypochlorite activated by passive ultrasonic irrigation technique) we found that there is no significant difference among root thirds in each treatment.
4. Attending to the root canal third:
 - Coronal: We found lower hardness after the treatment with all the irrigant solutions used in this study and there are statistically significant differences between the control group and the rest of the groups.
 - Medium: The irrigant solutions which affect the most to the dentin hardness are NaOCl 5% and NaOCl5% plus EDTA 17%. There are no significant differences between them.
 - Apical: We found lower hardness after the treatment with all the irrigant solutions used in this study. Nevertheless there are no statistically significant differences between dentin previous to the treatment with the different irrigants and after it.
5. More studies are needed to check how other concentrations and activation techniques could change dentin physical properties.

—● RESUMEN

RESUMEN

JUSTIFICACIÓN.

Los irrigantes endodónticos contribuyen a la aparición de fracturas. El hipoclorito de sodio y el ácido etilendiaminotetraacético, activados o no con irrigación ultrasónica pasiva pueden variar las propiedades físicas de la dentina como es la dureza. Esta afectación no es la misma a lo largo de toda la raíz porque la estructura dentinaria cambia en función del tercio radicular.

Se estudia cómo estos irrigantes influyen sobre la dureza de los diferentes tercios radiculares, ya que, aunque supongan un riesgo en la aparición de fracturas, son imprescindibles para el éxito para el tratamiento endodóntico.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

- No hay diferencias estadísticamente significativas entre la dentina antes y después de utilizar irrigantes, activados o no
- La dureza dentina de la dureza radicular no varía a lo largo de los tercios radiculares, hayan sido tratados o no con irrigantes con o sin activación

OBJETIVOS

5. Determinar si hay diferencias entre la dureza dentinaria entre los diferentes tercios antes del tratamiento con irrigantes
6. Observar si se afecta la dureza dentinaria al utilizar hipoclorito de sodio al 5 por ciento (NaOCl), hipoclorito de sodio al 5 por ciento más ácido

etilendiaminotetraacético al 17 por ciento (NaOCl más EDTA) e hipoclorito de sodio al 5 por ciento activado con irrigación ultrasónica pasiva (NaOCl activado con IUP)

3. Verificar si se produce afectación de la dureza dentinaria dependiendo del tercio radicular
4. Si la existe afectación de la dureza, comprobar qué irrigante produce mayor afectación según el tercio radicular.

MÉTODO

Se emplean dientes extraídos sin fracturas, caries u obturaciones radiculares, ápices abiertos ni tratamientos endodónticos. Sus raíces se cortan en secciones de 3mm, con las paredes paralelas y atendiendo al tercio radicular. Estos segmentos se dividen aleatoriamente en grupos de 20 muestras cada uno: grupo 1 control (suero salino); grupo 2 10ml de NaOCl 60 minutos; grupo 3 10ml de NaOCl 60 minutos más 10ml de EDTA 60 minutos; grupo 4 10ml de NaOCl 60 minutos activado mediante IUP.

Para su medición con el microdurómetro Vickers, se utiliza un soporte plástico con resina autopolimerizable, exponiendo la cara coronal de la muestra que se pule una vez montada.

Se realizan indentaciones con el microdurómetro Vickers con valores de 4,9N y 20 segundos. Se hacen tres mediciones por muestra y cada medición se repite. Se toma como valor final la media de estas mediciones.

RESULTADOS

- Dependiendo del tratamiento: en el grupo control hay diferencias entre los tercios radicales. En el resto de los grupos no hay diferencias entre los tercios.
- Dependiendo del tercio radicular: en coronal hay diferencias entre los tratamientos, siendo el más duro el grupo control. En medio hay diferencias entre el grupo control y NaOCl, NaOCl más EDTA. No existen diferencias entre el grupo control y el grupo NaOCl activado con IUP, ni entre los grupos NaOCl, NaOCl más EDTA y el grupo NaOCl activado con IUP. En apical no hay diferencias entre grupos.

CONCLUSIONES

6. Antes del irrigante, hay diferencias entre tercios radicales, siendo el menos duro el apical.
7. Todos los irrigantes disminuyen la dureza de la dentina radicular, aunque no siempre existan diferencias estadísticamente significativas.
8. En función del irrigante: NaOCl, NaOCl más EDTA y NaOCl activado con IUP afectan por igual a todos los tercios.
9. En función del tercio
 - Coronal: todos los irrigantes producen igual afectación a la dureza de la dentina. El grupo control es el más duro.
 - Medio: NaOCl y NaOCl más EDTA producen mayor disminución de la dureza de la dentina y no existen diferencias significativas entre ellos.
 - Apical: todos los irrigantes disminuyen la dureza dentaria, aunque no existen diferencias con el grupo control.
5. Se necesitan más estudios para saber cómo afectarían otras concentraciones y técnicas de activación.

—●BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Lam P.P.S, Palamara J.E.A., Mseser H.H. Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*. 2005; 31(7): p. 529-32.
2. Chan C., Tseng S., Lin C., Huang C., Tsai C., Cen C.C.. Vertical root fracture in nonendodontically treated teeth- A clinical report of 64 cases in chinese patients. *Journal of Endodontics*. 1998; 24(10): p. 678-81.
3. Ernesto García Barbero. Diagnóstico en endodoncia. In Barbero JG. *Patología y terapéutica dental*. Barcelon: Elsevier España S.L.; 2015. p. 515-24.
4. Hassan B., Metska M.E., Ozok A.R., van der Stelt P., Wesselink P.R. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *Journal of Endodontics*. 2009; 35(5): p. 719-22.
5. Tamse A., Fuss Z., Lustig J., Kaplavi J. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *Journal of Endodontics*. 1999; 25(7): p. 506-08.
6. Haueisen H., Gärtner K., Kaiser L., Trohorsch D., Heidemann D. Vertical root fracture: prevalence, etiology and diagnosis. *Quintessence international*. 2013; 44(7): p. 467-74.
7. De Moor R.J.G., Meire M., Goharkahay K., Moritz A., Vanaobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *Journal of Endodontics*. 2010; 36(9): p. 1580-83.
8. Cruz-Filho A.M., Sousa-Neto M.D., Savioli R.N., Silva R.G., Vansan L.P., Pécora J.D. Effect of chelating solutions on the microhardness of root canal lumen dentin. *Journal of Endodontics*. 2011; 37(3): p. 358-62.
9. Eldeniz A.U., Erdemir A., Belli S. Effect of EDTA and citric acid solutions on the microhardness and the roughness of human root canal dentin. *Journal of Endodontics*. 2005; 31(2): p. 107-10.
10. Sayin T.C., Serper A., Cehreli Z.C., Otlı H.G. The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin. *Oral surgery, Oral medicine, Oral pathology, Oral radiology and Endodontology*. 2007; 104: p. 418-24.
11. Vianna M.E., Gomes B.P.F.A., Berber V.B., Zaia A.A., Feraza C.C., Souza-Filho F.J. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2004; 97: p. 79-84.
12. Howard R.K., Kirkpatrick T.C., Rutledge R.E. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *Journal of Endodontics*. 2011; 37(9): p. 1301-05.
13. Mota Moreira D., Affonso Almeida J.F., Randi Ferraz C.C., Figueiredo de Almeida Gomes G.P., Peres Line S.R., Zaia A.A. Structural analysis of bovine root dentin after use of different endodontics auxiliary chemical substances. *Journal of Endodontics*. 2009; 35(7): p. 1023-27.

14. Çalt S., Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of Endodontics*. 2002; 28: p. 17-19.
15. R.G. C. *Materiales de Odontología Restauradora*. 10th ed. Madrid: Harcourt Brace de España S.A.; 1998.
16. Sayin T.C., Cebrel Z.C., Deniz D., Akcay A., Tuncel B., Dagli F., Gozukara H., Kalayci S. Time-dependent decalcifying effects of endodontic irrigants with antibacterial properties. *Journal of Endodontics*. 2009; 35(2): p. 280-83.
17. Doğan H., Çalt S. Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *Journal of Endodontics*. 2001; 27(9): p. 578-80.
18. Arends J., ten Bosch J.J. Demineralization and remineralization evaluation techniques. *Journal of Dental Research*. 1992; 71: p. 924-28.
19. Akcay I., Sen B.H. The effect of surfactant addition to EDTA on microhardness of root dentin. *Journal of Endodontics*. 2012; 38(5): p. 704-07.
20. Grigoratos D., Knowles J., Ng Y-L., Gulabivala K. Effect of exposing dentine to sodium hypochlorite and calcium hydroxide on its flexural strength and elastic modulus. *International Endodontic Journal*. 2001; 34: p. 113-19.
21. Saleh A.A., Ettman W.M. Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine. *Journal of Dentistry*. 1999; 27: p. 43-46.
22. Gutmann J.L. Minimally invasive dentistry (Endodontics). *Journal of Conservative Dentistry*. 2013; 16: p. 282-83.
23. Gluskin A.H., Peters C.I., Peters O.A. Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *British Dental Journal*. 2014; 216: p. 347-53.
24. Rico Romano C, Córdoba del Moral G, Mena Álvarez J, Vera Morós C, Garrido Lapeña P, Rodríguez Arrevola N. Estudio in vitro de la eficacia del hipoclorito de sodio y la clorhexidina contra el *Enterococcus faecalis*. *Endodoncia*. 2012; 30(3): p. 103-10.
25. Cruz-Filho A.M., Sousa-Neto M.D., Saquy P.C., Djalma J. Evaluation of the effect of EDTAC, CDTA, and EGTA on radicular dentin microhardness. *Journal of Endodontics*. 2001; 27(3): p. 183-84.
26. Kakehasi S., Stanley H.R., Fitzgerald R.J. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral surgery Oral medicine Oral Pathology*. 1965; 20: p. 340-49.
27. Baumgartner J.C., Bakland L.K., Sugita E.I. *Microbiología de la endodoncia y asepsia en la práctica endodoncia*. In Ingle J.I. BLK. *Endodoncia*. 5th ed. Barcelona: McGraw-Hill Interamericana; 2005. p. 63-79.
28. Öncag Ö., Hosgör M., Hilmioglu S, Zekioglu O., Eronat C., Burhanoglu D. Comparison of antibacterial and toxic effects of various root canal irrigants. *International Endodontic Journal*. 2003; 36: p. 423-32.
29. Zehnder M. Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*. 2006; 32(5): p. 389-98.
30. Naenni N., Thoma K., Zehner M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *Journal of Endodontics*. 2004; 30(11): p. 785-87.
31. Christensen C.E., McNeal S.F., Eleazer P. Effect of lowering the pH of sodium hypochlorite on dissolving tissue in vitro. *Journal of Endodontics*. 2008; 34(4): p. 449-52.
32. Boutsoukakis C., Verhaagen B., Walmsley A.D., Versluis M., van der Sluis L.W.M.

- Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *International Endodontic Journal*. 2013; 46: p. 1046-55.
33. West J.D., Roane J.B. Sistema de limpieza y conformación de los canales radicales. In Cohen S. BRC. *Vías de la Pulpa*. 7th ed. Madrid: Harcourt España S.A.; 1999. p. 203-57.
 34. F.S. W. Métodos de tratamiento intraconducto, principios básicos y avanzados. In F.S. W. *Tratamiento Endodóntico*. 5th ed. España: Harcourt Brace de España S.A.; 1997. p. 369-81.
 35. Dakin H.D. On the use of certanin antiseptic substances in treatment of wounds. *British Medical Journal*. 1915; 2: p. 318-20.
 36. Grossman I., Meiman B.W. Dissolution of pulp tissue by chemical agents. *Journal of American Dental Association*. 1941; 28: p. 223-25.
 37. Cohen S., Hargreves K.M. Limpieza y conformación del sistema de conductos radicular. In Cohen S. HKM. *Vias de la Pulpa*. España: Elsevier; 2008. p. 325-69.
 38. White J.D., Lacefield W.R., Eleazer P.D. The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentin. *Journal of Endodontics*. 2002; 28(12): p. 828-30.
 39. Bauman M.A., Beer R. Instrumentos y materiales: lavado, secado y medicación intratubular. In Bauman M.A. BR. *Atlas en color de odontología. Endodoncia*. 2nd ed. España: Elsevier España S.L.; 2008. p. 84.
 40. Vera Rojas J., Benavides García M., Moreno Silva E., Romero Viñas M. Conceptos y técnicas actuales en la irrigación endodóntica. *Endodoncia*. 2012; 30(1): p. 31-44.
 41. Machnick T.K, Torabinejad M., Munoz C.A., Shabahang S. Effect of MTAD on flexural strength and modulus of elasticity of dentin. *Journal of Endodontics*. 2003; 29(11): p. 747-50.
 42. Wong D. T.S., Cheung G.S.P. Extension of bactericidal effect of sodium hypochlorite into dentinal tubules. *Journal of Endodontics*. 2014; 40: p. 825-29.
 43. Siqueira J.F., Machado A.G., Silveira R.M., Lopes H.P., de Uzeda M. Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with three irrigation methods in the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal in vitro. *International Endodontic Journal*. 1997; 30: p. 279-32.
 44. El Karim I., Kennedy J., Hussey D. The antimicrobial effects of root canal irrigation and medication. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2007; 103(4): p. 560-69.
 45. Bryce G., O'Donnell D., Ready D., Ng Y., Pratten J., Gulabivala K. Contemporary root canal irrigants are able to disrupt and eradicate single- and dual-species biofilms. *Journal of Endodontics*. 2009; 35(9): p. 1243-48.
 46. Buttler T.K., Crowford J.J. The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite as endotoxins. *Journal of Endodontics*. 1992; 8: p. 59-66.
 47. Hand R.E., Harrison J.W. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*. 1978; 4: p. 60-64.
 48. Jungbluth H., Marending M., De-Deus G. Sener B., Zehnder M. Stabilizing sodium hypochlorite at high pH: effects on soft tissue and dentin. *Journal of Endodontics*. 2011; 37(5): p. 693-96.

49. Camps J., Pommel L., Aubut V., Verchille B., Satoshi F., Lascola B., About I. Shelf life, dissolving action, and antibacterial activity of a neutralized 2.5% sodium hypochlorite solution. *Oral surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009; 108: p. e66-e73.
50. Senia E.S., Marshall J.F., Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1971; 31: p. 96-103.
51. Harryson J.W., Hand R.E. The effect of dilution and organic matter on the antibacterial property of 5.25% sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*. 1981; 7: p. 128-32.
52. Stojicic S., Zivkovic S., Qian W., Zhang H., Hassapalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *Journal of Endodontics*. 2010; 36(9): p. 1558-62.
53. Dychkala G.R. Chlorine and chlorine compounds. In G.R. D. Block SS ed. *Disinfection, sterilization and preservation*. Philadelphia: Lea&Febiger; 1991. p. 131-51.
54. Sirtes G., Waltimo T., Shaetzle M., Zehnder M. The effect of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution and antimicrobial efficacy. *Journal of Endodontics*. 2005; 31: p. 669-71.
55. Gu L., Kim J.R., Ling J., Choi K.K., Pashley D.H., Tay F.R. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of Endodontics*. 2009; 35(5): p. 791-04.
56. McGill S., Gulabivala K., Mordan N., Ng Y.L. The efficacy of dynamic irrigation using an commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen "bio-mol film" from an ex vivo model. *International Endodontic Journal*. 2008; 41: p. 602-608.
57. Nielsen B.A., Baumgartner J.C. Comparison of the EndoVac System to needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*. 2007; 33(5): p. 611-15.
58. Tronstad L., Barnett F., Schwartzbe L., Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endodontics and Dental Traumatology*. 1985;(1): p. 69-76.
59. Walmsley A.D., Lumley P.J., Laird W.R.. Oscillatory pattern of sonically powered endodontic files. *International Endodontic Journal*. 1989; 22: p. 15-32.
60. Richman M.J. *J Med* 1957; 12:12-8. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *Journal of Medicine*. 1957; 12: p. 12-18.
61. Martin H., Cunningham W.T., Norris J.P., Coton W.R. Ultrasonic versus hand filling of dentin: a quantitative study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1980; 49: p. 79-81.
62. Munoz H.R., Camacho-Cuadra C. In vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars. *Journal of Endodontics*. 2012; 38(4): p. 445-48.
63. Weller R.N., Brady J.M., Bernier W.E. Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of Endodontics*. 1980; 6: p. 740-43.
64. van Der Sluis L.W.M., Versluis M., Wu M.K., Wesselink P.R. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International Endodontic Journal*. 2007; 40: p. 415-26.
65. A.D. W. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation.

- International Endodontic Journal. 1987; 20: p. 105-11.
66. Ahmad M. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *Journal of Endodontics*. 1988; 14: p. 486-93.
 67. Halford A., Ohl C., Azarpazhooh A., Basrani B., Friedman S., Kishen A. Synergistic effect of microbubble emulsion and sonic or ultrasonic agitation on endodontic biofilm in vitro. *Journal of Endodontics*. 2012; 38: p. 1530-1534.
 68. Jensen S.A., Walker T.L., Hutter J.W., Nicoll B.K. Comparison of cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of endodontics*. 1999; 25: p. 735-38.
 69. Boutsoukakis C., Verhaagen B., Walmsley A.D., Versluis M., van der Sluis L.W.M. Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *International Endodontic Journal*. 2013; 46: p. 1046-55.
 70. Lee S.J., Wu M.K., Wesslen P.R. *Int Endod J* 2004 37 (9) 607-12. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *International Endodontic Journal*. 2004; 37: p. 607-12.
 71. Lee S.J., Wu M.K., Wesslen P.R.. *Int Endod J* 2004; 37(10): 672-8. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *International Endodontic Journal*. 2004; 37(10): p. 672-78.
 72. Weber C.D., McClanahan S.B., Miller G.A., Diener-West M., Johnson J.D. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5.25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals. *Journal of Endodontics*. 2003; 29(9): p. 562-565.
 73. Aline Martins Justo, DDS, MSc,* Ricardo Abreu da Rosa Manuela Favarin Santini, DDS, MSc,* Mari Ferreira B.C., Pereira J.R., Duarte M.A.H., S6 M.V.R. Effectiveness of final irrigant protocols for debris removal from simulated canal irregularities. *Journal of Endodontics*. 2014;40:2009–2014); 40: p. 2009-14.
 74. Cachovan G., Schiffner U., Altenbof S., Guentsch A., Pfister W., Eick S. Comparative antibacterial efficacies of hydrodynamic and ultrasonic irrigation systems in vitro. *Journal of Endodontics*. 2013; 39(9): p. 1171-1175.
 75. Huque J., Kota K., Yamaga M., Iwaku M. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *International Endodontic Journal*. 1998; 31: p. 242-50.
 76. Ordinola-Zapata R., Bramante C.M., Aprecio R.M. Handysides R., Jaramillo D.E. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. *International Endodontic Journal*. 2014; 47: p. 659-66.
 77. de Almeida A.P., Souza M.A., Miyagaki D.C., Bello Y.D., Cecchin D., Farina A.P. Comparative evaluation of calcium hypochlorite and sodium hypochlorite associated with passive ultrasonic irrigation on antimicrobial activity of a root canal system infected with *Enterococcus faecalis*: an in vitro study. *Journal of Endodontics*. 2014; 40: p. 1953-57.

78. Mancini M., Cerroni L., Iorio L., Armellin E., Conte G., Cianconi L. Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and Passive Ultrasonic Irrigation): field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *Journal of Endodontics*. 2013; 39(11): p. 1456-60.
79. Saber S.E., Hashem A.A. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *Journal of Endodontics*. 2011; 37(9): p. 1272-75.
80. Castelo-Baz P, Martín-Biedma B, Cantatore G, Ruíz-Piñón M, Babillo J, Rivas-Mundiña B, et al. In vitro comparison of passive and continuous ultrasonic irrigation in simulated lateral canals of extracted teeth. *Journal of Endodontics*. 2012; 38(5): p. 680-91.
81. Sabins R.A., Johnson D., Hellstein J.W. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics*. 2003; 29(10): p. 674-78.
82. Klyn S., Kirkpatrick T.C., Rutledge R. In vitro comparison of debris removal of the EndoActivator System de F File, Ultrasonic Irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentantion in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*. 2010; 36(8): p. 1367-71.
83. Huttula A.S, Tordik P.A., Imamura G., Eichmiller F., McClanaban S.B. The effect of ultrasonic post instrumentation on root surface temperature. *Journal of Endodontics*. 2006; 32: p. 1085-87.
84. Baumgartner J.C., Mader C.L.. A scanning eletron microscopio evaluation of tour root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics*. 1987; 13: p. 147-57.
85. Baumgartner J.C, Cuenin P.R. Efficay of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *Journal of Endodontics*. 1992; 18: p. 605-12.
86. Pascon F.M., Kantovitz K.R., Sacramento P.A., Nobre-dos-Santos M., Puppini-Rontari R.M. Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *Journal of Dentistry*. 2009; 90: p. 903-08.
87. Spangber L., Engstro B., Langeland K.. Biologic effects of dental meterial. III Toxicity and atimicrobial effect of endodontic antiseptics in Vitro. *Oral Surgery*. 1973; 36: p. 856-57.
88. Oyarzún A., Cordero A.M., Whittle M. Immunohistochemical evaluation of the effects of sodium hypochlorite on dentin collagen and glycosamminoglycans. *Journal of Endodontics*. 2008; 28(3): p. 152-56.
89. Kaufamn A.Y., Keila S. Hypersensitivity to sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*. 1989; 15: p. 224-6.
90. Stewart G.G. 1961. A study of a new medicament in the chemomechanical preparation of infected root canals. *Journal of American Dentistry Association*. 1961; 63: p. 33-37.
91. portalesmedicos.com. [Online]. [cited 2014 Febrero 22. Available from: http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/Quelacion.
92. Weine F.S. Métodos de tratamiento intraconducto, principios básicos y avanzados. In F.S. W. Tratamiento Endodóntico. 5th ed. España: Harcourt Brace de España S.A.; 1997. p. 369-81.

93. 1. Seidberg B., Shilder H. Oral surg oral med oral pathol oral radiol endod 1974; 37 609-20. An evaluation of EDTA in endodontics. Oral surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. 1974; 37: p. 609-20.
94. Yamada R.S., Armas A., Goldman N., Sun Lin P.. Scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions Part 3. Journal of Endodontics. 1983; 9: p. 137-42.
95. De-Deus G., Reis C., Fidel R., Fidel S., Paciornik S. Co-site digital optical microscopy and image analysis: an approach to evaluate the process of dentine demineralization. International Endodontic Journal. 2007; 40: p. 441-50.
96. Marending M., Paqué F., Fischer J., Zehnder M. Impact of irrigant sequence on mechanical properties of human root dentin. Journal of Endodontics. 2007; 33: p. 1325-28.
97. Zehnder M., Schmidlin P., Sener B., Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. Journal of Endodontics. 2005; 31(11).
98. Niu W., Yoshioka T., Kobayashi C., Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. International Endodontic Journal. 2002; 35: p. 934-39.
99. Zhang K., Kim Y.K., Cadenaro M., Pashley D., Sidow S.J., Loushine R.J., Ling J., Tay F.R. Effects of different exposure times and concentrations of sodium hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin. Journal of Endodontics. 2010; 36: p. 105-109.
100. Baum L., Phillips R.W., Lund M.R. Prevención de las enfermedades dentales. Dentina. In Baum L. PRW,LMR. Tratado de Operatoria Dental. Mexico D.F.: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V; 1996. p. 5-6.
101. Nicholson J.W. Consideraciones biológicas en odontología operatoria. Un logro contemporáneo. 1st ed. Caracas: Actualidades Médico Odontológicas Latinoamérica C.A.; 1999.
102. Barrancos P.J., Friedman J. Histología Dentaria. In Barrancos Mooney J. BPJ. Operatoria Dental. Integración clínica. 4th ed. Madrid: Panamericana; 2006. p. 261-280.
103. Robertson T.M., Harald O. Heymann H.O., Swift E.J. Introducción a la Odontología. In Robertson R.T. HOHHO,EJ. Sturdevant, arte y ciencia de la odontología operatoria y conservadora. 5th ed.: Elsevier; 2007. p. 25-33.
104. Gutmann J.L. The dentin-root complex: Anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. The Journal of Prosthetic Dentistry. 1992; 67: p. 458-67.
105. Soares C.J., Santana F.R., Silva N.R., Pereira J.C., Pereira C.A. Influence of the endodontic treatment on mechanical properties of root dentin. Journal of Endodontics. 2007; 33(5): p. 603-06.
106. Ari H., Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. Journal of Endodontics. 2005; 31(3): p. 187-89.
107. Marshall G.W., Yücel N., Balooch M., Kinney J.H., Habelitz S., Marshall S.J. Sodium hypochlorite alterations of dentin and dentin collagen. Surface Science. 2001; 491(444-455).

108. Pitts D.L., Natkin E. Diagnosis and treatment of vertical root fractures. *Journal of Endodontics*. 1983; 9: p. 338-46.
109. Lertchirakarn V., Palamara J.E.A., Messer H.H. Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *Journal of Endodontics*. 1999; 25: p. 99-104.
110. Cohen S., Berman L.H., Blanco L., Bakland L., Kim J.S. A demographic analysis of vertical root fractures. *Journal of Endodontics*. 2006; 32: p. 1160-63.
111. Chan C., Tseng S., Lin C., Huang C., Tsai T., Chen C. Vertical root fracture in nonendodontically treated teeth- A clinical report of 64 cases in Chinese patients. *Journal of Endodontics*. 1998; 24: p. 678-681.
112. Hassan B., Metska M.E., Ozok A.R., van der Stelt P., Wesselink P.R. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *Journal of Endodontics*. 2009; 35: p. 719-22.
113. Walton R.E., Michelich R.J., Smith G.N. The histopathogenesis of vertical root fractures. *Journal of Endodontics*. 1984; 10: p. 10-18.
114. Tamse A., Kaffe I., Lustig J., Ganor Y., Fuss Z. Radiographic features of vertically fractured endodontically treated mesial roots of mandibular molars. *Oral surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2006; 101: p. 797-802.
115. Venskutonis T., Plotino G., Juodzbals G., Mickeviciene L. The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: a review of the literature. *Journal of Endodontics*. 2014 40; p. 1895-1901.
116. Hassan B., Metska M.E., Rifat A., van der Stelt P., Wesselink P.R. Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *Journal of Endodontics*. 2010; 36: p. 126-29.
117. Patel S., Durack C., Abella F., H. Shemesh H., Roig M., Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics – a review. *International Endodontic Journal*. 2015; 48: p. 3-15.
118. Brady E., Mannocci F., Brown J., Wilson R., Patel S. A comparison of cone beam computed tomography and periapical radiography for the detection of vertical root fractures in nonendodontically treated teeth. *International Endodontic Journal*. 2014; 47: p. 735-46.
119. Neves F.S., Freitas D.Q., Campos P.S.F., Ekestubbe A., Lofthag-Hansen S. Evaluation of Cone-beam Computed Tomography in the Diagnosis of Vertical Root Fractures: The Influence of Imaging Modes and Root Canal Materials. *Journal of Endodontics*. 2014; 40: p. 153-36.
120. Chavda R., Mannocci F., Andiappan M., Patel S. Comparing the in vivo diagnostic accuracy of digital periapical radiography with cone-beam computed tomography for the detection of vertical root fracture. *Journal of Endodontics*. 2014; 40: p. 1524-29.
121. Lam P.P.S., Palamara J.E.A., Messer H.H. Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*. 2005; 31: p. 529-32.
122. Monaghan P., Bajalcaliev J.G., Kaminski E. A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth. *Journal of Endodontics*. 1993; 19: p. 512-15.

123. Haueisen H., Gärtner K., Kaiser L., Trohorsch D., Heidemann D. Vertical root fracture: prevalence, etiology, and diagnosis. *Quintessence International*. 2012; 63: p. 873-880.
124. Santos A.F.V., Tanaka C.B., Lima R.G., Espósito C.O.M., Ballester R.Y., Braga R.R., Meira J.B.C. Vertical root fracture in upper premolars with endodontic posts: finite element analysis. *Journal of Endodontics*. 2009; 35: p. 117-20.
125. Sathorn C., Palamara J.E., Palamara D., Messer H.H. Effect of root canal size and external root Surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *Journal of Endodontics*. 2005; 31: p. 288-92.
126. Lertchirakarn V., Palamara J.E.A., Messer H.H. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribuion in the root canal. *Journal of Endodontics*. 2003; 29: p. 523-29.
127. Tang W., Wu Y., Smales R.J. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *Jouranl of Endodontics*. 2010; 36: p. 609-917.
128. Lertchirakarn V., Timyam A., Messer H.H. Effects of root canal sealers on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics*. 2002; 28: p. 217-19.
129. Latempa A. M. A, Almeida S.A., Nunes.F., da Silva E.M., Guimaraes J.G.A., Poskus L.T. Techniques for restoring enlarged canals: an evaluation of fracture resistance and bond strength. *International Endodontic Journal*. 2015; 48: p. 28-36.
130. Soares C.J.; Sorares P.V, De Freitas Santos-Filho, Castro C.G, Magalhes D., Versluis A. , The influence of cavity design and glass fiber post son bioechanical behavior of endodontically treated premolars. *Journal of Endodontics*. 2008; 34: p. 1015-19.
131. Belli S., Eraslan O., Eraslan O., Eskitascioglu M., Eskitascioglu G. Effects of NaOCl, EDTA and MTAD when applied to dentine on stress distribution in post-restored roots with flared canals. *International Endodontic Journal*. 2014; 47: p. 1123–32.
132. Burdairon G. Propiedades mecánicas de los biomateriales. In G. B. *Manual de biomateriales dentarios*. Barcelona : Masson; 1991. p. 33-53.
133. Anusavice J.K. Propiedades mecánicas de los materiales dentales. In J.K. A. *La ciencia de los materiales dentales de Phillips*. Mexico : McGraw Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.; 1998. p. 49-77.
134. Jiménez Planas A., Ábalos Labruxxi C., Martín Hernández J. Propiedades mecánicas. In Jiménez Planas A. *ÁLC,MHJ. Manual de materiales odontológicos*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla; 2007. p. 27-38.
135. Craig R.G. Propiedades mecánicas. In R.G. C. *Materiales de Odontología Restauradora*. España: Harcourt Brace de España S.A.; 1998. p. 56-103.
136. Darvell B.W. Mechanical testing. In B.W. D. *Materials science for dentistry*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2009. p. 1-36.
137. Macchi R.L. Propiedades de los materiales. In R.L. M. *Materiales Dentales*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana S.A.; 2002. p. 13-38.
138. Rosales -Leal J.I., Gomes M.,Toledano Pérez M. Propiedades físicas, químicas, mecánicas, ópticas, térmicas y eléctricas de los biomateriales odontológiccos. In

- Toledano Pérez M. ORR,SAF,ORE. Arte y ciencia de los materiales odontológicos. Madrid: Ediciones Avances Médico-Dentales S.L.; 2003. p. 37-64.
139. Kansert S.L. kasert.es. [Online]. [cited 2014 Marzo 18. Available from: www.karser.es/Vickers.swf.
 140. Calle Trujillo G., Henao Castañeda E.D. Universidad Tecnológica de Pereira. [Online]. [cited 2015 Mayo 17. Available from: <http://www.utp.edu.co/~gcalles/Contenidos/DurezaHV.html>.
 141. Universidad Politécnica de Valencia. [Online].; 2003 [cited 2015 Mayo 17. Available from: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm03/ptrb3_4.html.
 142. Junta de Andalucía [cited 2014 marzo 18. Available from: juntadeandalucia.es. Junta de Andalucía. [Online]. [cited 2014 Marzo 18. Available from: juntadeandalucia.es.
 143. Ramírez M.Á.C. www.slideshare.net. [Online].; 2013 [cited 2014 Marzo 18. Available from: www.slideshare.net/tango67/dureza-vickers-y-microdureza.
 144. Sim T.P.C., Knowles J.C., Ng Y-L, Shelton J., Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *International Endodontic Journal*. 2001; 34: p. 120-32.
 145. Bui T.B., Baumgartner J.C., Mitchel J.C. Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorexidine gluconate and its effect on root dentin. *Journal of Endodontics*. 2008; 34(2): p. 181-85.
 146. Karlinsey R.L., Mackey A.C., Stookey G.K. In vitro remineralization efficacy of NaF systems containing unique forms of calcium. *American Journal of Dentistry*. 2009; 22(3): p. 184-88.
 147. Ari H., Erdemir A., Belli S. Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. *Journal of Endodontics*. 2004; 30(11): p. 792-95.
 148. Craig R.G., Gehring P.E., Peyton F.A. Relation of structure to the microhardness of human dentine. *Journal of Dental Research*. 1959; 38: p. 624-630.
 149. Oliveira L.D., Carvalho C.A.T., Nunes W., Valera M.C., Camargo C.H.R., Jorge A.O.C. Effects of chlorhexidine and sodium hypochlorite on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2007; 104(4): p. 125-e128.
 150. Beltz R.E., Torabinejad M., Pouresmail M. Quantitative analysis of the solubilizing action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp. *Journal of Endodontics*. 2003; 29(5): p. 334-37.
 151. Kerbl F.M., DeVilliers P., Litaker M. Physical Effects of Sodium Hypochlorite on Bone: an ex vitro study. *Journal of Endodontics*. 2012; 38(3): p. 357-59.
 152. Patel S., Yl N.F., Gilthorpe M., Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on depletion of dentine. *International Endodontic Journal*. 2000; 33(2): p. Abstract.
 153. Slutzky-Goldberg I., Maree M., Liberman R., Heling I. Effect of sodium hypochlorite on dentin microhardness. *Journal of Endodontics*. 2004; 30(11): p. 880-82.
 154. Yamada R.S., Armas A., Goldman M., Lin P.S. A scanning electron microscopic comparison of a high volume fine flush with several irrigating solutions: part 3. *Journal of endodontics*. 1983; 9(4): p. 137-142.

155. Wang Z., Shen Y., Haapasalo M. Effectiveness of Endodontic Disinfecting Solutions against Young and Old *Enterococcus faecalis* Biofilms in Dentin canals. *Journal of Endodontics*. 2012; 38: p. 1376-79.
156. Castelo-Baz P., Martín-Biedma B., Cantatore G., Ruíz-Piñón M., Babillo J., Rivas-Mundiña b., Varela-Patiño P. In vitro comparison of passive and continuous ultrasonic irrigation in simulated lateral canals of extracted teeth. *Journal of Endodontics*. 2012; 38(5): p. 688-91.
157. Mitchell R.P., Baumgartner J.C., Sedgley C.M. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *Journal of Endodontics*. 2011; 37(12): p. 1677-81.
158. Klllyn S., Kirkpatrick T.C., Rutledge R. In vitro comparison of debris removal of the EndoActivator System de F File, Ultrasonic Irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*. 2010; 36(8): p. 1367-71.
159. Jensen S.A., Walker T.L., Hutter J.W., Nicoll B.K. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics*. 1999; 25(11): p. 735-38.
160. Slutzky-Goldberg I., Liberman R., Heling I. The effect of instrumentation with two different file types, each with 2,5% NaOCl irrigation on the microhardness of root dentin. *Journal of endodontics*. 2002 Abril; 28(4): p. 311-13.
161. Saghiri M.A., Delvarani A., Mehrvarzfar P., Malganji G., Lotfi M., Dadresanfar B., Saghiri A.M., Dadvand S. A study of the relation between erosion and microhardness of root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009; 108(6): p. e29-e34.
162. Baumgartner J.C., Mader C.L. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens (abstract). *Journal of Endodontics*. 1987 Abril; 13(4): p. 147-157.
163. Qing Y., Akita Y., Kawano S., Kawazu S., Yoshida T., Sekine I. Cleaning efficacy and dentin micro-hardness after root canal irrigation with a strong acid electrolytic water. *Journal of Endodontics*. 2006 Noviembre; 32(11): p. 1102-06.
164. Al-Salehi S.K., Wood D.J., Hatton P.V. The effect of 24h non-stop hydrogen peroxide concentration on bovine enamel and dentine mineral content and microhardness. *Journal of Dentistry*. 2007; 35: p. 836-44.
165. Hülsmann M., Heckendorff M., Schäfers F. Comparative in vitro evaluation of three chelator pastes. *International Endodontic Journal*. 2002; 35: p. 668-679.
166. Carrigan P.J., Morse D.R., Furst M.L., Snai I.H. A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *Journal of Endodontics*. 1984 Agosto; 10(8): p. 359-63.
167. Pashley D., Okabe A., Parham P. The relationship between dentin microhardness and tubule density. *Endodontics and Dental Traumatology*. 1985; 1(176-9).
168. Ballal N.V., Mala K., K.S. Bhat. Evaluation of the effect of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on the microhardness and surface roughness of human root canal dentin. *Journal of Endodontics* Volume 36, Number 8, August 2010. 2010 Agosto; 36(8): p. 1385-88.
169. Zhang K., Kim Y.K., Cadenaro M., Brya T.E., Sidow S.J., Loushine R.J., Lin J., Pashley D.H., Franklin R. Tay F. Effects of different exposure times and

- concentrations of sodium hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin. *Journal of Endodontics*. 2010 Enero; 36(1): p. 105-09.
170. Marending M., Paqué F., Fischer J., Zehnder M. Impact of irrigant sequence on mechanical properties of human root dentin. *Journal of Endodontics*. 2007 Noviembre; 33(11): p. 1325-28.
 171. Pérez-Heredia M., Ferrer-Luque C.M., González-Rodríguez M.P., Martín-Peinado F.J., González-López S. Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2,5% sodium hypochlorite on root canal dentine. *International Journal*. 2008; 41: p. 418-23.
 172. Van der Sluis L.W.M., Vogels M.P.J.M., Verhaagen B., Macedo R., Wesselink P.R. Study on the Influence of refreshment/activation cycles and irrigants on mechanical cleaning efficiency during ultrasonic activation of the irrigant. *Journal of Endodontics*. 2010; 36(4): p. 737-40.
 173. Beus C., Safavi K., Stratton J., Kaufman B. Comparison of the effect of two endodontic irrigation protocols on the elimination of bacteria from root canal system: a prospective, randomized clinical trial. *Journal of Endodontics*. 2012 Noviembre; 38(11): p. 1479-1483.
 174. Galhano G.Á., de Melo R.M., Babosa S.H., Zamboni S.C., Bottino M.A., Scotti R. Evaluation of light transmission through translucent and opaque posts. *Operative Dentistry*. 2008; 33(3): p. 321-24.
 175. Seaman H., Shannon I.L. Fluoride treatment and microhardness of dentine. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1979; 41: p. 528-30.
 176. Burrow M.F., Takakura H., Nakajima M., Inai M., Tagami J., Takatsu T. The influence of age and depth on dentin bonding. *Dental Materials*. 1994; 10: p. 241-46.
 177. Carrigan P.L., Morse D.R., Furst M.L., Sinai I.H. Scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *Journal of endodontics*. 1984; 10: p. 359-63.
 178. Lopes M.B., Sinhoreti M.A., Gonini Júnior A., Consani S., McCabe J.F. Comparative study of tubular diameter and quantity for human and bovine dentin at different depths. *Brazilian Dental Journal*. 2009; 20(4): p. 279-83.
 179. Camargo C.H.R., Siviero M., Camargo S.E.A., de Oliveira S.H.G., Carvalho C.A.T., Valera M.C. Topographical, Diametral, and Quantitative Analysis of Dentin Tubules in the Root Canals of Human and Bovine Teeth. *Journal of Endodontics*. 2007; 33: p. 422-26.
 180. Sayin T.C., Cebeli Z.C., Deniz D., Akcay A., Tuncel B., Dagli F., Gozukara H., Kalayci S. Time-dependent decalcifying effects of endodontic irrigants with antibacterial properties. *Journal of Endodontics*. 2009; 35(2): p. 280-83.
 181. Eldeniz A.U., Erdemir A., Belli S. Effect of EDTA and citric acid solutions on the microhardness and the roughness of human root canal dentin. *Journal of Endodontics*. 2005; 31(2): p. 107-10.
 182. Cruz-Filho A.M., Sousa-Neto M.D., Saquy P.C., Djalma J. Evaluation of the effect of EDTAC, CDTA, and EGTA on radicular dentin microhardness. *Journal of Endodontics*. 2001; 27(3): p. 183-84.

183. White J.D., Lacefield W.R., Eleazer P.D. The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentin. *Journal of Endodontics*. 2002; 28(12): p. 828-30.
184. Cruz-Filho A.M., Sousa-Neto M.D., Savioli R.N., Silva R.G., Vansan L.P., Pécora J.D. Effect of chelating solutions on the microhardnes of root canal lumen dentin. *Journal of Endodontics*. 2011; 37(3): p. 358-62.
185. Machnick T.K, Torabinejad M., Munoz C.A., Shabahang S. Effect of MTAD on flexural strength and modulus of elasticity of dentin. *Journal of Endodontics*. 2003; 29(11): p. 747-50.
186. Mota Moreira D., Affonso Almeida J.F.,Randi Ferraz C.C., Figueireido de Almedia Gomes G.P., Peres Line S.R., Zaia A.A. Structural analysis of bovine root dentin after use of different endodontics auxiliary chemical substances. *Journal of Endodontics*. 2009; 35(7): p. 1023-27.
187. Dogan H., Çalt S. Effects of chelanting agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *Journal of Endodontics*. 2001; 27(9): p. 578-80.
188. Akcay I., Sen B.H. The effect of surfactant addition to EDTA on microhardness of root dentin. *Journal of Endodontics*. 2012; 38(5): p. 704-07.
189. Driscoll C.O., Dowker S.E.P., Anderson P., Wilson R.M. Effects of sodium hypochlorite solution on root dentine composition. *Journal of Materials Sicence: Materials In Medicine*. 2002; 13: p. 219-223.
190. Öncag Ö. Hosgör M. Hilmioglu S., Zekioglu O., Burhanoglu D. Comparison of antibacterial and toxic effects of various root canal irrigants. *Interantional Endodontic Journal*. 2003; 36: p. 423-32.
191. Vianna M.E., Gomes B.P.F.A., Berber V.B., Zaia A.A., Feraza C.C., Souza-Filho F.J. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2004; 97: p. 79-84.
192. Howard R.K., Kirkpatrick T.C., Rutlege R.E. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *Journal of Endodontics*. 2011; 37(9): p. 1301-05.
193. Christensen C.E., McNeal S.F., Eleazer P. Effect of lowering the pH of sodium hypochlorite on dissolving tissue in vitro. *Journal of Endodontics*. 2008; 34(4): p. 449-52.
194. Ari H., Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *Journal of endodntics*. 2005; 31(3): p. 187-89.
195. De Moor R.J.G., Meire M., Goharkahay K., Moritz A., Vanaobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *Journal of Endodontics*. 2010; 36(9): p. 1580-83.
196. Arends J., ten Bosch J.J. Demineralization and remineralization evaluation techniques. *Journal of Dental Research*. ;: p. 924-28.